

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Соболевський Руслан Вадимович**

**УДК 622.1:622.83+622.35**

**УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ  
ГЕОСТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2017

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України

**Науковий  
консультант:**

доктор технічних наук, професор  
**Зуєвська Наталя Валеріївна,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського» Міністерства освіти і науки України  
(м. Київ), професор кафедри геобудівництва та  
гірничих технологій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Собко Борис Юхимович,**  
Державний ВНЗ «Національний гірничий  
університет» Міністерства освіти і науки України (м.  
Дніпро), завідувач кафедри відкритих гірничих робіт;

доктор технічних наук, професор  
**Четверик Михайло Сергійович,**  
Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова  
НАН України (м. Дніпро), завідувач відділу  
геомеханічних основ технологій відкритої розробки  
родовищ;

доктор технічних наук, професор  
**Темченко Олександр Анатолійович,**  
Криворізький економічний інститут ДВНЗ «Київський  
національний економічний університет імені Вадима  
Гетьмана» Міністерства освіти і науки України  
(м. Кривий Ріг), завідувач кафедри економіки та  
стратегії підприємств.

Захист відбудеться 20 квітня 2017 року о 14<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «17» березня 2017 р.

**Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,**

**В. В. Вапнічна**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** При розробці родовищ нерудних будівельних матеріалів економічна ефективність видобування значною мірою буде залежати від ефективності управління технологічними процесами. Відповідно до результатів досліджень підходів до процесу видобування корисних копалин, ефективність виконання окремих технологічних процесів та продуктивність усього комплексу видобувного обладнання визначається як природними, так і технологічними показниками. Дослідження показників якості спрямоване на встановлення кондицій корисної копалини, суттєво залежить від напрямку використання і носить індивідуальний характер для кожного окремого родовища. Кількість показників якості для одного родовища варіюється в межах від одного до нескінченості. При виборі показників слід дотримуватись пріоритетності, яка визначається очікуваною економічною ефективністю. Такі фактори визначають параметри системи розробки покладу, тому помилка їх оцінки потенційно може призвести до значних економічних втрат, що підкреслює важливість правильного вибору методу моделювання. Серед сучасних методів моделювання просторової мінливості показників якості найбільш перспективними слід вважати методи геостатистичного аналізу, використання яких з великим ступенем ймовірності дозволить підвищити ефективність процесу управління якістю сировини.

При дослідженні просторової мінливості показників якості застосовуються різні методи математичної обробки, серед яких на сьогодні найбільш перспективними можна вважати методи кластерного та фрактального аналізу. Для аналізу складних вибірок при розв'язанні різноманітних задач оптимізації часто застосовують методи кластерного аналізу. Такий підхід у багатьох випадках дозволяє одержати порівняно кращі результати систематизації результатів вимірювань та значно підвищити ефективність прогнозування. Тому можна вважати, що використання кластерного аналізу з великим ступенем ймовірності дозволить підвищити ефективність процесу управління якістю сировини.

Результати сучасних наукових досліджень підтверджують фрактальні властивості окремих показників якості, зокрема тріщинуватості на різних структурних рівнях, що підкреслює актуальність дослідження фрактальної природи показників якості та використання одержаних закономірностей для управління технологічними процесами при видобуванні нерудних будівельних матеріалів.

Таким чином, управління якістю нерудних будівельних матеріалів на основі геостатистичного моделювання є **актуальною науково-практичною проблемою**, вирішення якої дасть змогу підвищити ефективність технології видобування нерудних будівельних матеріалів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась на кафедрі маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету у рамках науково-дослідних робіт «Вплив гірничо-промислового комплексу на навколишнє середовище, теоретичне

обґрунтування заходів з поліпшення екологічної і техногенної безпеки та розробка і впровадження екологічно чистих технологій видобування і переробки сировини» (0102U001343), «Розробка автоматизованої вимірювальної системи для визначення геометричних характеристик промислових будівельних виробів» (РК 0106 U001182), в яких автор брав участь як виконавець, та «Розробка методики геометризації покладів пірофілітових сланців із урахуванням різновекторності проведення гірничих робіт» (0111U005927), «Геостатистичний аналіз просторового розподілу якісних показників Жежелівського родовища первинних каолінів» (0114U005626), «Геостатистичний аналіз просторового розподілу якісних показників покладів будівельної нерудної сировини» (№ ДР 0114U005625), в яких автор брав участь у якості керівника.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка методик управління якістю нерудної будівельної сировини на основі врахування фрактально-кластерної природи просторової мінливості геоструктурних, геохімічних та технологічних показників покладів.

Відповідно до поставленої мети вирішувались такі задачі:

- встановлення закономірностей геопросторової мінливості показників якості нерудних будівельних матеріалів;
- встановлення закономірностей розвитку тріщинуватості на різних структурних рівнях для обґрунтування оптимальних методик дослідження;
- дослідження ефективності використання апарату фрактального аналізу для процесу управління якістю нерудних будівельних матеріалів;
- встановлення взаємозв'язку між характеристиками поверхні зразків нерудних будівельних матеріалів та показниками якості для розробки ефективних методик їх визначення;
- наукове обґрунтування та розробка методик для визначення показників якості та прийняття ефективних технологічних рішень для випадку селективної розробки покладів нерудних будівельних матеріалів.

*Об'єкт дослідження* – процеси управління якістю корисних копалин при розробці покладів нерудних будівельних матеріалів.

*Предмет дослідження* – методи та засоби контролю та управління якістю нерудної будівельної сировини на основі фрактального та кластерного аналізу.

**Методи досліджень.** При виконанні досліджень використовувались такі методи: аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень у галузі оцінки якості нерудних будівельних матеріалів; проведення інструментальних спостережень за процесами екскавації та буріння; методи та засоби теорії ймовірності та прикладної статистики для опрацювання результатів експериментів з використанням засобів обчислювальної техніки; графоаналітичний і числовий аналіз; кластерний та фрактальний аналіз; кваліметричне оцінювання покладів та окремих ділянок лабрадоритів, каолінів, мергелів, гранітів і вапняків; лабораторні дослідження відібраних зразків; економічний аналіз; гірничо-геометричний аналіз показників якості з використанням комп'ютерної обробки відеозображень.

**Наукова новизна** одержаних результатів, що виноситься на захист, представлена науковими положеннями, в яких уперше:

- виділені характерні системи тріщин для основних родовищ лабрадоритів Житомирської області з застосуванням кластерного аналізу; одержано аналітичні залежності кількості тріщин від азимуту простягання у вигляді полінома другого ступеня та встановлена аналітична залежність у вигляді полінома четвертого ступеня між орієнтацією окремих систем тріщин і оптимальним напрямком відколу для врахування анізотропії показників якості, що може бути використано для прогнозування напрямку розвитку гірничих робіт та управління процесами видобування декоративного каменю;
- на підставі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що при селективному способі розробки родовищ нерудної будівельної сировини, управління якістю необхідно здійснювати з урахуванням фрактальної природи показників якості;
- на основі застосування фрактального аналізу встановлено закономірності впливу форми тріщинуватості в зоні буріння шпурів на продуктивність процесу буріння у вигляді лінійних залежностей та одержані поліноміальні закономірності зміни білизни зразків первинного каоліну залежно від результатів визначення кольорових координат, фрактальної розмірності поверхні зразків, розмірів зерен сканованих зразків та фрактальної розмірності зерен в масиві;
- встановлено кореляційні залежності між геохімічними та геоструктурними показниками якості родовищ нерудних будівельних матеріалів та оцінено вплив просторової мінливості цих показників на ефективність селективного видобування нерудних будівельних матеріалів;
- розроблено математичну модель процесу селективного видобування корисної копалини з використанням фрактальних розмірностей; введено поняття та отримана математична залежність для технологічного коефіцієнта форми контакту, що дозволяє підвищити достовірність прогнозу продуктивності екскавації при селективному видобуванні нерудних будівельних матеріалів.

Наукове значення роботи полягає у розвитку наукових основ управління якістю нерудних будівельних матеріалів, що базується на встановленні залежностей природних та технологічних параметрів, які оцінюються інтегральними показниками, реалізованими при геостатистичному моделюванні ефективності технологічних рішень.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

- розроблено методики оцінки білизни зразків первинного каоліну за результатами визначення кольорових координат сканованих зразків, за результатами визначення фрактальної розмірності поверхні зразків, розмірів зерен та фрактальної розмірності зерен;
- запропоновано нову кластерно-геометричну методику управління якістю блочного каменю на основі визначення показника блочності для

оцінки перспективності розробки родовищ або окремих ділянок та розробки стратегії щодо управління якістю;

- розроблена нова методика аналізу закономірностей формування тріщинуватості родовищ декоративного каменю, яка базується на зіставленні значень фрактальних розмірностей роз тріщинуватості;
- розроблена методика визначення прогнозної продуктивності процесу буріння шпурів залежно від фрактальної розмірності зони буріння шпурів;
- розроблено кластерно-фрактальну методику визначення об'ємів;
- розроблено методику оперативної безконтактної оцінки просторової мінливості якісних показників;
- запропоновано методику кластерно-крігінгового усереднення якості сировини;
- виділені групи родовищ за геоструктурними показниками та фрактальною розмірністю роз тріщинуватості та запропонована їх класифікація.

Обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується обсягом проведених натурних спостережень, використанням методів математичної статистики при обґрунтуванні методики натурних спостережень та обробці результатів вимірювань, відповідністю окремим результатам досліджень інших авторів, застосуванням обґрунтованих математичних моделей, позитивним ефектом упровадження результатів досліджень.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на ТОВ «Березнефарфор», ПП «Іван», ТОВ «ТЕМП-БУКИ», ТОВ «Корнинський завод будівельних матеріалів», ПАТ «Коростенський кар'єр», ТДВ «Березівський кар'єр», ТОВ «Грабовецький гранкар'єр», та у навчальному процесі Житомирського державного технологічного університету та ДВНЗ «Кам'янець-Подільський індустріальний коледж», що підтверджується відповідними актами. Сумарний очікуваний економічний ефект становить 1113000 грн. на рік.

**Особистий внесок здобувача.** Автором сформульовано наукову проблему, мету, ідею роботи, задачі досліджень, наукові положення та новизну одержаних результатів, висновки і рекомендації. Автор особисто розробив методики вимірювання, брав участь у проведенні натурних інструментальних спостережень і аналітичних розрахунків показників якості покладів декоративного каменю, первинних каолінів, пірофілітових сланців, вапняків, глинистих порід і бутощепеневі сировини. Особисто автором розроблені методики управління якістю покладів нерудних будівельних матеріалів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення та практичні рекомендації обговорювались на таких національних і міжнародних науково-практичних конференціях: Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня» (м. Магнітогорськ, Росія, 2007 р., 2009 р., 2011 р., 2012р., 2014 р., 2016 р.); Міжнародній конференції «Форум гірників – 2011» (м. Дніпропетровськ, Україна, 2011 р.); XXXV науково-практичній міжвузівській конференції,

присвяченої Дню університету (м. Житомир, Україна, 2011 р.); V міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, Україна, 2011 р.); Міжвузівській науково-практичній конференції, присвяченій Дню науки ЖДТУ (м. Житомир, Україна, 2012 р.); Регіональній науково-практичній конференції «Проблеми гірничої технології» (м. Красноармійськ, Україна, 2012 р., 2014 р.); 9-й міжнародної конференції по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (м. Мінськ, Білорусь, 2013 р.); Международной научно-практической конференции (м. Алмати, Казахстан, 2014 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, Україна, 2016 р.), 16-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology (м. Албена, Болгарія, 2016 р.).

**Публікації.** Результати дисертації повною мірою викладені в опублікованих роботах. За темою дисертації видано 47 наукових праць, з них 30 у фахових виданнях, із них 9 статей – у збірниках наукових праць, що включені до переліку міжнародних науково-метричних баз даних, 1 – у закордонному фаховому виданні, 16 – у збірниках матеріалів національних і міжнародних конференцій, 1 – патент на винахід.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів і висновку, викладених на 277 сторінках основного тексту, містить 77 рисунків, 28 таблиць, список використаних джерел із 236 найменувань на 28 сторінках і 25 додатків на 103 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики дослідження та показано зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та основні задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичну цінність результатів.

**Перший розділ** присвячено аналізу наукових підходів до управління якістю корисних копалин та методикам оцінки та прогнозу якісних показників.

Проаналізовано вплив процесів управління якістю нерудних будівельних матеріалів на ефективність видобування на основі аналізу напрацювань таких вчених: В. В. Ржевський, Б. Ю. Собко, Л. А. Шрейнер, О. А. Шаповал, М. С. Четверик, М. Ж. Музапаров, М. Т. Бакка, О. Б. Синельников, С. О. Жуков, М. І. Моторний, С. Т. Агеев, Ю. Г. Карасьов, О. А. Темченко, О. І. Косолапов, М. М. Анощенко, К. К. Ткачук, К. Н. Ткачук, А. Г. Смірнов, А. Ю. Дриженко, Г. Д. Пчолкін, І. Л. Гуменик, В. І. Прокопенко, В. Д. Воробйов та інших.

Аналіз підходів до управління якістю дозволив виділити такі основні напрями досліджень:

- 1) розробка методологічних основ вибору, вимірювання та класифікації показників якості;
- 2) оцінка просторового розподілу якісних показників;

- 3) обґрунтування методів управління якістю при видобуванні корисних копалин на основі оптимізаційного моделювання технології розробки покладів.

Узагальнення результатів теоретичних та емпіричних досліджень у галузі управління якістю продукції гірничого підприємства дозволило сформулювати таке визначення: управління якістю продукції гірничого підприємства – це сукупність процесів встановлення кондицій, геолого-економічної оцінки покладу, оптимізаційного моделювання структури видобувних комплексів та технологічних параметрів, які спрямовані на забезпечення стабільності певного рівня якості корисних копалин. Було створено класифікацію процесів управління якістю.

Узагальнення результатів досліджень, які виконувались автором, дозволило сформулювати методику одержання комплексного показника якості, яка полягає в послідовному виконанні наступних кроків: аналіз напрямів використання сировини; аналіз вимог щодо якості сировини для кожного з напрямів; виділення вагомості кожного з напрямів за критерієм прибутковості; визначення пріоритетних сортів; виділення граничних значень показників для певних сортів; аналіз кореляційного зв'язку між окремими показниками; виділення основних показників якості.

Досліджено підходи до використання методів фрактального та кластерного аналізу для дослідження природних об'єктів.

Виконано оцінку ефективності використання методів інтерполяції для моделювання геопросторової мінливості показників якості покладів нерудних будівельних матеріалів.

За результатами аналізу наукових джерел і практики розробки покладів нерудних будівельних матеріалів та виявлених при цьому недоліків сформульовані наведені вище мета й основні задачі дослідження.

**У другому розділі** наведено обґрунтування методик безконтактного дослідження та аналізу просторової мінливості якісних показників нерудних будівельних матеріалів.

Розроблена методика оцінки точності визначення розмірів та площі природної тріщинуватості за результатами наземної стереофотограмметричної зйомки.

Обґрунтовано перспективність застосування методу наземного лазерного сканування для визначення елементів залягання тріщин та створення просторової моделі ділянки, що досліджується, або усього кар'єру для підвищення ефективності планування гірничих робіт.

Підтверджено достатню надійність використання нейронних мереж для калібрування цифрових неметричних камер, а також факт, що після фотограмметричної і нейромережевої обробки знімків, похибка фотограмметричних вимірів не перевищує допустимих значень (рис. 1).

Доведено перспективність застосування фотограмметричного нейромережевого аналізу для визначення більшості показників якості родовищ декоративного каменю, що дозволяє вважати цю методику основою для



розробки універсальної гнучкої автоматизованої системи планування гірничих робіт.

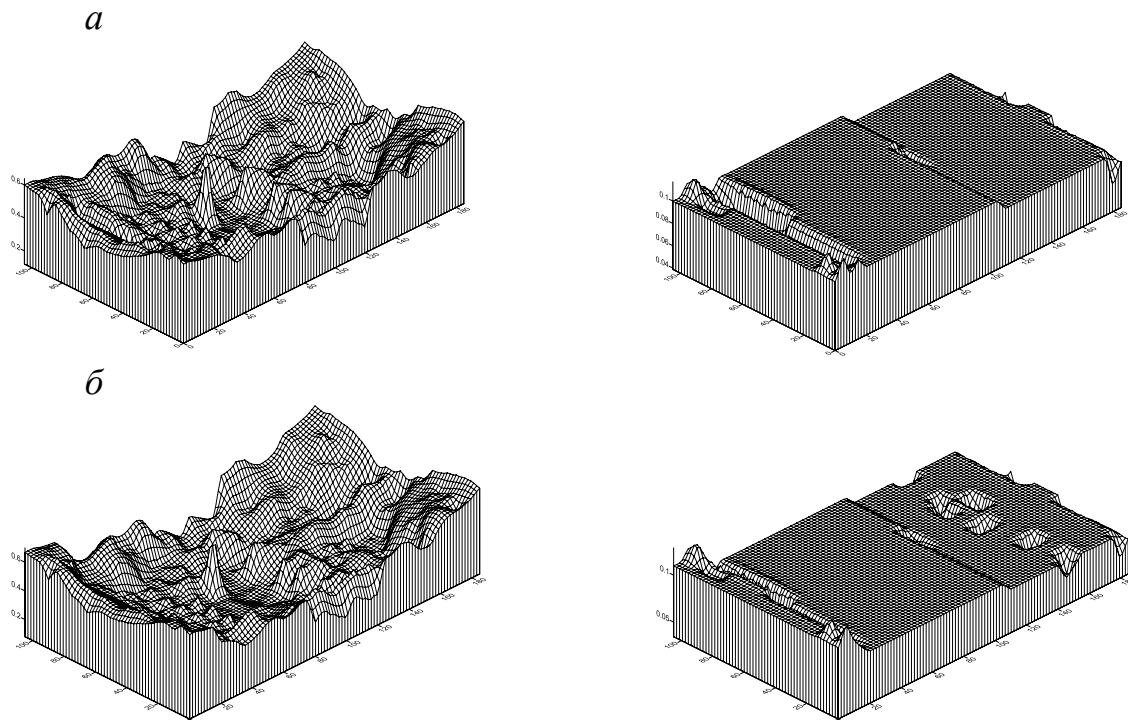


Рис. 1. Нейромережевий алгоритм калібрування цифрових неметричних камер  
*а* – похибка визначення координат *X* до калібрування і після реалізації нейромережевого алгоритму калібрування; *б* – похибка визначення координат *Y* до калібрування і після реалізації нейромережевого алгоритму калібрування

Запропоновано методику використання планшетного сканера з подальшою обробкою кольорових координат пікселів сканованого зображення для визначення білизни зразка каоліну, яку пропонується обчислювати за формулою (1):

$$W = 2,0388 \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{3}R + \frac{1}{3}G + \frac{1}{3}B \right) k}{\sum_{j=1}^k (R_{\max} + G_{\max} + B_{\max}) n} \right) \cdot 100 - 110,1439, \quad (1)$$

де  $R, G, B$  – значення кольорових координат в системі RGB;  $R_{\max}, G_{\max}, B_{\max}$  – максимальні значення кольорових координат;  $k$  – кількість елементів кольорової системи координат;  $n$  – кількість пікселів, білизна яких визначається.

Методика оцінки білизни зразків первинного каоліну за результатами визначення кольорових координат сканованих зразків полягає в послідовній реалізації таких дій: відбір зразків первинного каоліну на видобувному горизонті; визначення координат місця відбору зразків (GPS приймач, тахеометр); обробка зразків та формування пігулок в прес-формі діаметром 50 мм при зусиллі пресування 10 тон; сканування груп сформованих пігулок планшетним сканером з роздільною здатністю 600 ppi; визначення білизни кожної пігулки за допомогою

програмного забезпечення; формування моделі просторового розподілу білизни на даному горизонті.

У роботі доведено ефективність використання фрактальної розмірності поверхні зразків для визначення оцінки білизни. Кореляційний аналіз показав наявність тісного кореляційного зв'язку між фрактальною розмірністю поверхні зразка та білизною (коефіцієнт кореляції 0,82). Аналітично залежність білизни від фрактальної розмірності поверхні описується поліномом другого ступеня (коефіцієнт детермінації 0,67):

$$W = 3277,6989 - 2260,4506D_F + 396,9244D_F^2. \quad (2)$$

У результаті була запропонована нова методика визначення білизни за результатами визначення фрактальної розмірності поверхні зразків, суть якої полягає в реалізації таких кроків: відбір зразків первинного каоліну на видобувному горизонті; визначення координат місця відбору зразків (GPS приймач, тахеометр); обробка зразків та формування пігулок в прес-формі діаметром 50 мм при зусиллі пресування 10 тон; сканування груп сформованих пігулок планшетним сканером з роздільною здатністю 600 ррі; виділення окремих зразків; оцінка якості зразків (наявність дефектів); виділення непошкодженої частини у випадку наявності дефектів на поверхні пігулки; визначення фрактальної розмірності поверхні зразків; визначення білизни кожного зразка за рівнянням регресії; формування моделі просторового розподілу білизни на даному горизонті.

У ході візуального аналізу гранулометричного складу відібраних зразків був помічений взаємозв'язок між білизною зразків та зернистістю, що дало підставу дослідити вплив розмірів та форми поверхні зерен на білизну зразків. В результаті було встановлено наявність тісного кореляційного зв'язку (коефіцієнт кореляції – 0,84) між білизною та розмірами зерен, яку аналітично описує поліном четвертого ступеня:

$$W = 2453,6301 - 389,2404r + 23,8452r^2 - 0,6442r^3 + 0,0065r^4, \quad (3)$$

де  $r$  – усереднений розмір зерна, мкм.

Для оцінки форми зерен було прийнято рішення застосувати фрактальну розмірність поверхні зерен. Доведено тісний кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції 0,86) між білизною та фрактальною розмірністю зерен каоліну в пігулках та підібрано аналітичний вираз у вигляді поліному четвертого ступеня:

$$W = 14359,8573 - 22519,3462D_{FZ} + 13187,3535D_{FZ}^2 - 3407,3852D_{FZ}^3 + 328,4543D_{FZ}^4, \quad (4)$$

де  $D_{FZ}$  – фрактальна розмірність зерен коліну.

Доведено ефективність використання цифрового мікроскопа для оцінки фрактальних розмірностей зерен виділених за зображенням у борозні, яка була утворена після проходу зубів ковша екскаватора, при віддалі зйомки  $0 \pm 3$  мм з розмірами зображення  $640 \times 480$  пікселів на ділянці розміром  $6 \times 12$  м. За результатами експериментальних досліджень доведено наявність тісного

кореляційного зв'язку ( $r_{xy} = 0,769$ ) між білизною та фрактальною розмірністю поверхні зерен каоліну, яка визначена за результатами використання цифрового мікроскопу в масиві, та підібрано аналітичний вираз (рис. 2), який представлений поліномом другого ступеня:

$$W_m = 33169,319 - 21476,9237D_F^{EM} + 3484,2431(D_F^{EM})^2, \quad (5)$$

де  $D_F^{EM}$  – фрактальна розмірність поверхні зерен, яка визначена за результатами використання цифрового мікроскопу в масиві.

Одержані результати дають можливість розробити методику безконтактного визначення білизни в масиві, яка полягає в послідовній реалізації таких дій: складання схеми відбору проб; калібрування цифрового мікроскопа; одержання зображень частин масиву первинного каоліну на видобувному горизонті за допомогою цифрового мікроскопа; виділення зерен на зображенні (метод Отцу); уточнення контурів маски зерен; визначення фрактальної розмірності поверхні зерен; визначення значення білизни за регресійним рівнянням взаємозв'язку білизни та фрактальної розмірності поверхонь зерен; визначення координат місця відбору зразків (рулетка, GPS приймач, тахеометр).

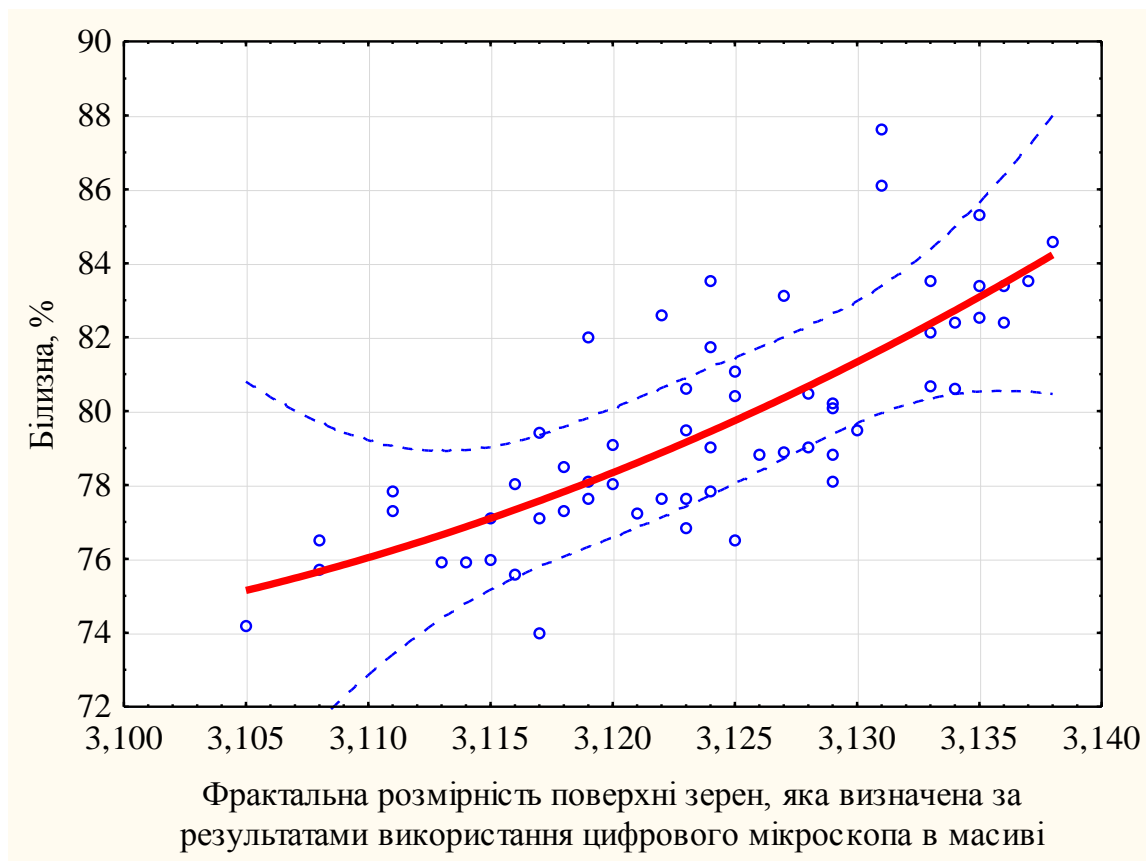


Рис. 2. Кореляційне поле залежності білизни від значення фрактальної розмірності поверхні зерен, яка визначена за результатами використання цифрового мікроскопа в масиві

Реалізація запропонованої методики дозволяє значно підвищити продуктивність та оперативність оцінки якісних параметрів покладів первинних

каоолінів з забезпеченням безконтактності вимірювань та підвищення наочності прив'язки результатів визначення якісних показників.

Були виділені основні різновиди вибірок елементів залягання природних тріщин для покладів лабрадориту Житомирської області (Україна), що дозволило сформувати еталонні вибірки для найбільш поширених систем:

- азимут простягання  $45^\circ$ , дисперсія  $20^\circ$ , кут падіння  $85^\circ$ , дисперсія  $5^\circ$ ;
- азимут простягання  $135^\circ$ , дисперсія  $40^\circ$ , кут падіння  $85^\circ$ , дисперсія  $5^\circ$ ;
- азимут простягання  $215^\circ$ , дисперсія  $30^\circ$ , кут падіння  $80^\circ$ , дисперсія  $5^\circ$ ;
- азимут простягання  $305^\circ$ , дисперсія  $40^\circ$ , кут падіння  $80^\circ$ , дисперсія  $5^\circ$ .

На основі аналізу еталонних вибірок з сорока, шістдесяти, ста та двохсот значень азимутів та кутів падіння тріщин було доведено, що метод кластеризації К-середніх з відстанями Чебишова дозволяє найбільш ефективно систематизувати тріщинуватість покладів лабрадориту.

Розроблено методику оцінки якості кластеризації на основі використання індексу якості. Дослідження ефективності методів кластеризації було значно розширено порівняно з попередніми результатами за рахунок збільшення кількості еталонних вибірок та узагальнення досліджень для цілої групи родовищ лабрадориту.

Результатами виконаних досліджень є методики оцінки якісних показників покладів нерудних будівельних матеріалів, реалізація яких дозволить розробити ефективні технологічні рішення.

**У третьому розділі** наведено наукові основи управління якістю блочного декоративного каменю.

У результаті виконаного кластерного аналізу всі родовища лабрадориту розділені на три групи. Відповідно, при календарному плануванні видобувних робіт для родовищ першої групи напрями розвитку гірничих робіт будуть змінюватися як у плані, так і по глибині, з максимальним домінуванням глибини, залежно від тріщинуватості масиву і необхідних обсягів блоків, при цьому можливим буде одночасне планування видобувних робіт для 7 і більше кількості уступів. Для родовищ другої групи, оптимальний напрямок розвитку гірничих робіт буде зорієнтований у горизонтальній площині, при цьому розвиток гірничих робіт по глибині родовища буде впливати тільки в межах 2–3 видобувних уступів. Для родовищ третьої, найчисленнішої групи, при плануванні гірничих робіт необхідно шукати оптимальне рішення на основі поєднання напрямків розвитку видобувних робіт як у плані, так і по горизонтах (для 3–6 видобувних уступів). Крім того, таке групування кар'єрів дозволить враховувати і ефективність планування внутрішнього відвалоутворення та рекультивації. Відповідно для першої групи кар'єрів внутрішнє відвалоутворення можливе через тривалі періоди експлуатації, що зумовить додаткові витрати на переєкскавацію значних обсягів гірських порід. Тому при проектуванні рекультивації для цього типу родовищ необхідний пошук інших проектних рішень (використання скельного розкриву для виробництва щебеню, а м'якої розкриву для підсипання доріг або боротьби з ерозійними процесами). Для другої групи створення внутрішніх відвалів можливе на ранніх стадіях експлуатації кар'єра. Відповідно при розробці цих родовищ можлива реалізація найбільш сприятливих напрямків рекультивації

(сільськогосподарського, створення лісопосадок, а при несприятливих гідрогеологічних умовах – рекреаційного та промислового рибного господарства). І третя група займає проміжне положення між першими двома по часу створення внутрішніх відвалів, а за ступенем ефективності рекультивації наближається до першої групи.

Виділення систем тріщин для основних родовищ лабрадоритів Житомирської області з застосуванням кластерного аналізу дозволило виділити характерні для кожного родовища системи тріщин. В цілому для всіх родовищ лабрадоритів Житомирської області було виділено 19 систем вертикальних тріщин, 21 систему субвертикальних тріщин, 2 системи субгоризонтальних тріщин та 1 систему горизонтальних тріщин.

Оцінка впливу орієнтації тріщин на їх кількість дозволила одержати аналітичний вираз залежності кількості тріщин від азимуту простягання у вигляді поліному другого ступеня, що може бути використано для прогнозування напрямку розвитку гірничих робіт та управління процесами видобування декоративного каменю:

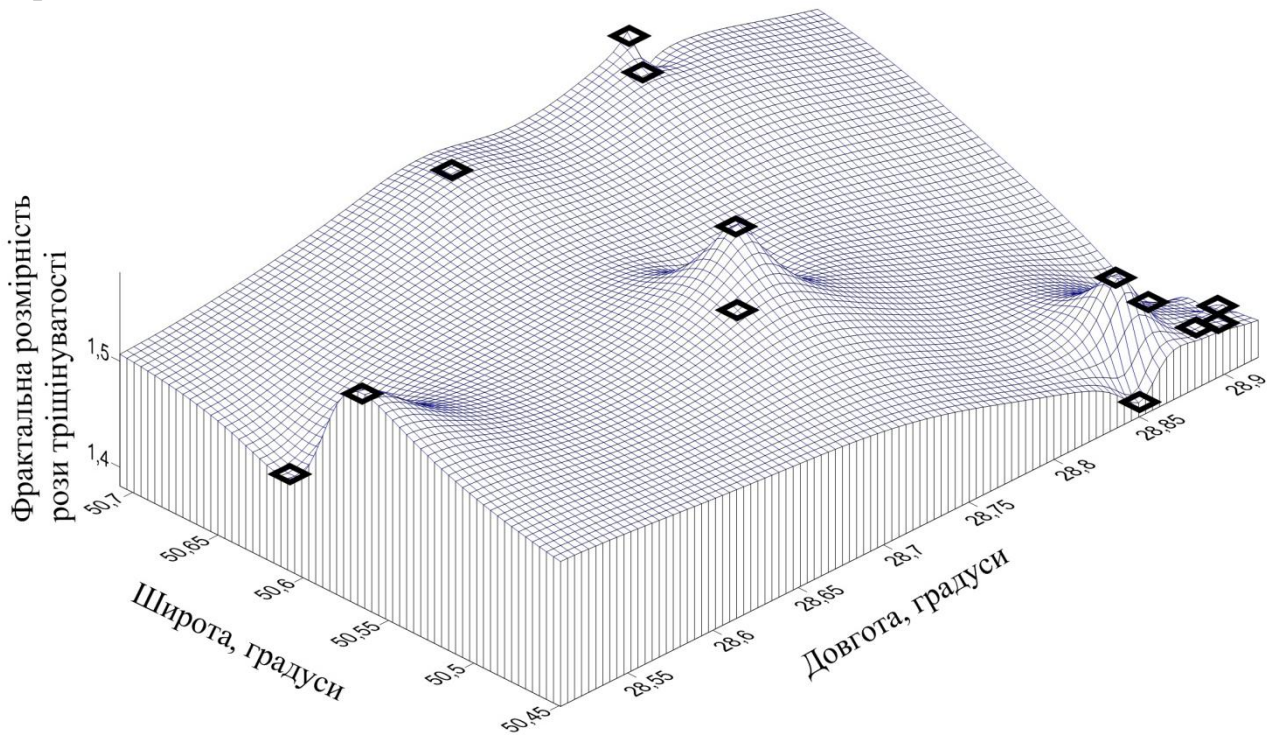
$$N = 0,0005\alpha^2 - 0,227\alpha + 38,8532. \quad (6)$$

Для оцінки перспективності розробки родовищ або окремих ділянок та розробки стратегії щодо управління якістю, запропоновано нову кластерно-геометричну методику управління якістю блочного каменю на основі визначення показника блочності та наведено приклад її реалізації для умов Немирівського родовища лабрадоритів. Суть методики полягає у виділенні основних систем тріщин за азимутами простягання та кутами падіння на основі використання кластерного аналізу методами кластеризації *K*-середніх з відстанями Чебишова або *K*-середніх з евклідовими відстанями; визначенні параметрів систем тріщин: азимутів простягання та падіння та їх дисперсій та кутових і лінійних співвідношень між системами тріщин; оцінкою похибок визначення кутів між системами тріщин та ймовірностей взаємного перетину площин виділених тріщин; створенні моделі природної окремості, кутові та лінійні співвідношення у якій прийняті з результатів попередніх етапів та визначення блочності, як співвідношення об'ємів природної та штучної окремостей з оцінкою ймовірності її утворення для умов цього родовища. Метою виконаних операцій є визначення технологічних рішень для кожної з обраних ділянок та стратегії управління якістю блочної сировини для максимізації виходу блоків з масиву. Розроблена методика дозволяє оцінити ймовірність кожного з одержаних результатів, що дає можливість підвищити ступінь врахування генезису тріщинуватості та взаємних кутових співвідношень між системами тріщинуватості та підвищити вірогідність оцінки якості як усього родовища, так і окремих його ділянок, значно підвищує ефективність оцінки ризиків при проектуванні видобувних робіт та ефективність управління якістю покладу декоративного каменю.

Для аналізу закономірностей формування тріщинуватості родовищ декоративного каменю була розроблена нова методика, яка базується на зіставленні значень фрактальних розмірностей роз тріщинуватості. Застосування

такої методики дозволило виділити групи родовищ лабрадориту України згідно закономірностей формування тріщинуватості. За показником фрактальної розмірності була виконана групування родовищ, що дозволило виділити 5 груп:  $D_F = 1,38\text{--}1,42$  (Верхолузьке, Корчіївське, Осницьке, Кам'янобрідське);  $D_F = 1,43\text{--}1,46$  (Андріївське, Миківське);  $D_F = 1,47\text{--}1,50$  (Браженське, Головинське, Немирівське);  $D_F = 1,51\text{--}1,54$  (Гута-Добринське, Олегівське);  $D_F = 1,55\text{--}1,59$  (Федорівське, Очеретянське, Добринське). Виділені за показником фрактальної розмірності групи родовищ лабрадориту дозволять підвищити вірогідність прогнозування тріщинуватості як окремих ділянок, так і цілих родовищ на підставі обґрунтованого використання методу аналогій.

Також застосування такої методики у поєднанні з класичними підходами геостатистичного аналізу дозволило одержати тривимірну карту просторової мінливості фрактальної розмірності тріщинуватості покладів лабрадоритів України (рис. 3), що дозволить оптимізувати геологорозвідувальні роботи при пошуку нових родовищ, а також підвищити ефективність встановлення закономірностей формування тріщинуватості і для окремих видобувних горизонтів.



◆ – місце розташування родовища лабрадориту

Рис. 3. Тривимірна карта фрактальних розмірностей роз тріщинуватості покладів лабрадориту України

Розроблені методики для прогнозування закономірності зміни фрактальної розмірності на різних структурних рівнях. Встановлено наявність взаємозв'язку фрактальних розмірностей на різних структурних рівнях. Одержано аналітичний вираз залежності величини фрактальної розмірності від порядку структурного рівня у вигляді полінома другого порядку для родовища габро «Лугове»:

$$D_F = 0,0842L^2 - 0,0969L + 1,3874, \quad (7)$$

де  $L$  – порядок структурного порушення (для розломів  $L = 1$ , для тріщинуватості покладу  $L = 2$  та для мікротріщинуватості родовища  $L = 3$ ).

Виконані дослідження дозволяють прогнозувати значення фрактальних розмірностей тріщинуватості на різних структурних рівнях, із забезпеченням суттєво меншого, порівняно з іншими методами вивчення тріщинуватості, обсягу натурних спостережень.

У результаті виконаних досліджень доведено високу продуктивність та вірогідність прогнозу просторової мінливості геоструктурних та технологічних показників покладу при використанні запропонованої оцінки фрактальної розмірності показників.

Розроблена методика визначення прогнозної продуктивності процесу буріння шпурів в залежності від фрактальної розмірності зони буріння шпурів. З цією метою пропонується виконувати наступну послідовність дій: на гранях моноліту (щонайменше двох), які на даний момент розкриті алмазно-канатопильною установкою, попередньо прикріплюється за допомогою двостороннього скотчу полотно рулетки; виконується фотографування масиву; при обробці знімку через кожний метр проводяться лінії, вздовж яких і буде визначатись фрактальна розмірність очікуваної зони буріння шпурів; в умовній системі координат, за вісь якої приймається спільна грань двох площин, визначаються координати кожної лінії; визначається фрактальна розмірність прогнозованої зони буріння шпурів для кожної лінії; за результатами попередніх досліджень встановлюється аналітична залежність між значеннями фрактальної розмірності зони буріння шпурів та продуктивністю буріння; визначається прогнозне значення продуктивності буріння; виконується просторова інтерполяція зміни продуктивності (рекомендований метод інтерполяції ступінь оберненої відстані); визначаються зони, які характеризуються очікуваною мінімальною продуктивністю буріння.

Реалізація цієї методики дозволила встановити взаємозв'язок між фрактальною розмірністю зони буріння шпурів та продуктивністю процесу буріння (рис. 4) та аналітично описати її емпіричною залежністю для прогнозованої оцінки:

$$P = 0,0287 + 0,5541D_F^d, \quad (8)$$

де  $D_F^d$  – фрактальна розмірність зони буріння шпурів.

Така методика в поєднанні з геостатистичним аналізом дозволила створити методику оцінки просторової мінливості продуктивності процесу буріння шпурів.

Одержані результати були реалізовані у виробничих умовах для оцінки просторової мінливості продуктивності буріння для ТОВ «ТЕМП-БУКИ», ТОВ «Поліський лабрадорит», ПП «Іван».



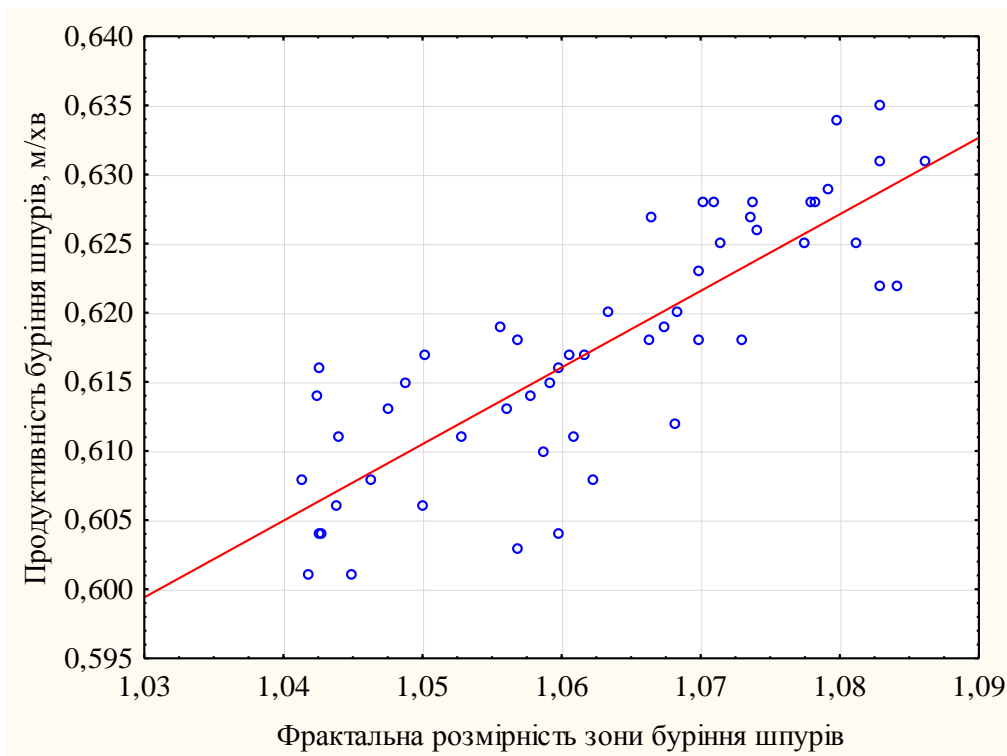


Рис. 4. Залежність продуктивності буріння від фрактальної розмірності зони буріння шпурів

Одержані результати дають можливість підвищити ефективність управління технологічними процесами при видобуванні декоративного каменя за рахунок підвищення вірогідності прогнозу продуктивності процесу буріння. Також одержана методика дозволить підвищити продуктивність бурового обладнання за рахунок оптимізації вибору місця буріння шпуру з врахуванням карти продуктивності буріння.

Одержані результати можуть бути реалізовані для одержання моделі масиву покладу нерудних будівельних матеріалів для оптимізації процесу управління видобуванням корисної копалини. У якості цільової функції оптимального процесу управління технологічними процесами слід прийняти функцію геоструктурних (орієнтація тріщинуватості, лінійні розміри тріщин, глибина розміщення тріщин, форма природних окремоностей, блочність) та технологічних (анізотропія властивостей покладу, орієнтація монолітів відносно граней природної окремоності, швидкості буріння та алмазно-канатного різання тріщинуватого масиву) показників. Причому якісні показники цільової функції доцільно підбирати індивідуально для кожного родовища з урахуванням геологічних та технологічних особливостей. Результати виконаних досліджень доводять високу ефективність використання апарату фрактального аналізу для процесу управління якістю нерудних будівельних матеріалів. Доведено високу ефективність використання в якості цільової функції оптимального процесу управління технологічними процесами функцію орієнтації тріщинуватості, лінійних розмірів тріщин та швидкості буріння тріщинуватого масиву, які були оцінені за узагальнюючим показником фрактальної розмірності.



Виконаний кореляційний аналіз взаємозв'язку рекомендованого напрямку відколу з азимутами простягання 59 тріщин для Головинського родовища лабрадориту встановив наявність слабкого кореляційного зв'язку, який характеризується коефіцієнтом кореляції – 0,382. Розподіл на дві групи за результатами кластеризації дозволив виділити основну групу з 38 вимірювань, для якої кути падіння змінюються в межах від 0 до 60 градусів, що дозволяє віднести їх до субгоризонтальної системи тріщин. Встановлено, що коефіцієнт кореляції для субгоризонтальних тріщин становить 0,58, що дозволяє встановити аналітичну залежність між оптимальним напрямком відколу та орієнтацією тріщин у вигляді поліному четвертого ступеня наступного вигляду:

$$\alpha_v = 261,4706 + 4,3981\alpha - 0,0916\alpha^2 + 0,0005\alpha^3 - 7,8044 \cdot 10^{-7}\alpha^4, \quad (9)$$

де  $\alpha$  – азимут простягання субгоризонтальних тріщин, градуси.

Доведено відсутність зв'язку оптимального напрямку анізотропії і орієнтації тріщинуватості для Сліпчицького родовища габро-нориту.

Розроблено математичну модель форм природних окремоностей, що дає можливість визначення характерних об'ємів з урахуванням закономірностей формування систем тріщин на родовищі та забезпечує, у поєднанні із запропонованим алгоритмом оптимізаційного моделювання розкрою, підвищення ефективності та надійності планування і проведення видобувних робіт, основою чого є можливість визначення оптимальних параметрів розкроювання природної окремоності на стандартні блоки з урахуванням технологічних, структурно-текстурних, декоративних, анізотропних особливостей і орієнтації систем тріщин родовища.

Результати одержаних досліджень дають змогу розробити оптимальну методику планування гірничих робіт з урахуванням анізотропії властивостей покладів декоративного каменю.

У **четвертому розділі** розглянуто наукові підходи до управління якістю при видобуванні первинних каолінів на основі геостатистичного моделювання структурних та якісних показників покладів з подальшим оптимізаційним моделюванням технологічних рішень.

Аналіз коефіцієнтів кореляції дозволяє стверджувати про наявність тісного кореляційного зв'язку між  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , білизною і жовтизною, між білизною та  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , між  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та жовтизною; середнього зв'язку між  $\text{MgO}$  та  $\text{CO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  та  $\text{TiO}_2$  та помірного кореляційного зв'язку між  $\text{CO}_2$  та  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$  для Глухівецького родовища первинних каолінів.

У ході статистичного аналізу якісних показників Велико-Гадоминецького родовища первинних каолінів було встановлено коефіцієнти кореляційного зв'язку між вмістом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{TiO}_2$  ( $R = 0,24$ ),  $\text{TiO}_2$  і білизною ( $R = -0,45$ ), а також  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і білизною ( $R = -0,75$ ). Кореляційний аналіз показує, що між вмістом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і білизною спостерігається тісний зв'язок, на що й вказує високий коефіцієнт кореляції. Очевидно, що вміст  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  впливає на забарвлення каоліну і зумовлює його жовтизну. Залежність білизни і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  описується рівнянням регресії у вигляді полінома другого ступеня:

$$y = 0,001474x^2 - 0,326793x + 18,3154. \quad (10)$$

Загалом геостатистичний аналіз якісних і геоструктурних показників виявив наявність просторової неоднорідності Велико-Гадоминецького родовища, що значно ускладнює виявлення спільної зони з високими коефіцієнтами коваріації одночасно для трьох основних показників якості первинного каоліну. Тому на дослідженій площі покладу очевидним є домінування високої різносортності первинного каоліну.

У ході статистичного аналізу якісних показників Жежелівського каоліну було встановлено коефіцієнти кореляційного зв'язку між вмістами  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $R = -0,75$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і білизною ( $R = -0,91$ ), а також  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і білизною ( $R = 0,77$ ).

Залежність  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  описується рівнянням регресії у вигляді полінома третього ступеня з коефіцієнтом вірогідності апроксимації  $R^2 = 0,68$ :

$$y = 0,4927x^3 - 54,429x^2 + 2002,9x - 24547. \quad (11)$$

Залежність білизни і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  описується рівнянням регресії у вигляді полінома другого ступеня з коефіцієнтом достовірності апроксимації  $R^2 = 0,86$ :

$$y = 0,0025x^2 - 0,4625x + 21,298. \quad (12)$$

Залежність білизни і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  описується рівнянням регресії у вигляді полінома другого ступеня з коефіцієнтом вірогідності апроксимації  $R^2 = 0,62$ :

$$y = -0,0024x^2 + 0,4219x + 18,873. \quad (13)$$

Побудовані варіограми показали, що просторова неперервність кореляційного зв'язку значень білизни у пробах свердловин спостерігається за напрямком  $135^\circ$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $45^\circ$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  –  $112,5^\circ$ ,  $\text{TiO}_2$  –  $67,5^\circ$ . Діапазон автокореляції відстаней між парами свердловин для значень білизни, вмісту  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{TiO}_2$  становить 310 м, 350 м, 260 м і 370 м відповідно.

Узагальнюючи аналіз просторової мінливості показників якості сировини та покладів первинних каолінів, можна зробити висновок, що для більшості родовищ характерна наявність значних перепадів показників та контурів ділянок їх просторової локалізації, крім того, аналогічна тенденція характерна для геоструктурних показників, що обумовлює високу різносортність та вимагає формування нових підходів до технологічних рішень при плануванні гірничих робіт для оптимізації процесу управління якістю.

У роботі досліджено взаємозв'язок потужності і висотної позначки покрівлі для покладів каолінів, що дозволило встановити наявність тісного кореляційного зв'язку (коефіцієнт кореляції  $-0,89$ ) та описати залежність потужності покладу від висотної позначки його покрівлі лінійною залежністю:

$$m = 229,6706 - 0,8288H. \quad (14)$$

де  $H$  – висотна позначка покрівлі, м.

Значна мінливість висотних позначок і потужності покладу передбачає значні ускладнення при проектуванні видобувних робіт, особливо при розробці верхніх уступів, для яких характерне суміщення розкривних та видобувних робіт. При проектуванні розробки необхідно враховувати множину різних факторів, серед яких найбільш суттєвий вплив на ефективність технологічних рішень має форма кондиційних ділянок, яка визначається висотою перерізу покрівлі (залежить від висоти уступу), кількістю вихідних даних для побудови моделі та методом інтерполяції вихідних даних.

Для обґрунтування висоти перерізу покрівлі в роботі було прийняте рішення виконати кластеризацію масиву вихідних даних за висотною позначкою методом К-середніх з Евклідовими віддальми. Після округлення та вивчення виробничої ситуації було прийняте рішення працювати з наступними інтервалами: 290–294, 286–290, 282–286, 278–282, 274–278, 270–274, 266–270, 262–266. У результаті було одержано кондиційні ділянки для всіх вищезазначених інтервалів та визначено їх площі. Також у роботі були побудовані тривимірні моделі основних ділянок кондиційної сировини. Аналіз одержаних форм свідчить про складність будови ділянок та необхідність розробки нових методик щодо визначення оптимальних технологічних рішень.

У результаті виконаних досліджень вдалось встановити залежність загальної площі кондиційних ділянок від висотної позначки кондиційної ділянки та описати її аналітично поліномом третього ступеня такого вигляду:

$$S_{\text{заг}} = -5,1047 \cdot 10^{11} + 7,3059 \cdot 10^9 H - 3,9182 \cdot 10^7 H^2 + 93327,6529 H^3 - 83,306 H^4. \quad (15)$$

Аналіз кореляційного зв'язку між фрактальною розмірністю кондиційних ділянок та висотною позначкою показав фактичну відсутність зв'язку між такими параметрами (коефіцієнт кореляції 0,29), що підтвердило гіпотезу про фрактальну природу форми кондиційних ділянок. У ході подальшого дослідження була висунута гіпотеза про кластерність фрактальної розмірності кондиційних ділянок, у ході перевірки якої були виділені два кластери; для першого кластера, на який припали 190–182 горизонти, середнє значення фрактальної розмірності становить 1,342 з дисперсією 0,016, а для другого кластера (висотні позначки локалізації ділянок від 282 м до 266 м) значення показника фрактальної розмірності та його дисперсії становить відповідно 1,26 та 0,001. Встановлено факт зменшення на порядок значення коефіцієнта кореляції з 0,26 для першого кластера до 0,029 для другого, що свідчить про підвищення ступеня фрактальності зі збільшенням глибини. Також одержані результати дають можливість використовувати фрактальну природу форми кондиційних ділянок для планування гірничих робіт.

У роботі розроблена методика обґрунтування оптимального напрямку ведення гірничих робіт з урахуванням фрактальної розмірності видобувних кластерів (рис. 5), суть якої полягає в послідовному виконанні таких операцій: виділення ділянки за якісними показниками; побудова моделі покрівлі корисної копалини для виділеної ділянки; виділення можливих напрямків ведення видобувних робіт; визначення оптимальних параметрів технології розробки; розділення ділянки на видобувні кластери ширина яких кратна ширині заходки

екскаватора, а орієнтація відповідає можливому напрямку ведення гірничих робіт; побудова розрізів по кожному кластеру; визначення фрактальної розмірності кожного з перерізів; визначення середнього значення фрактальної розмірності перерізу для даного випадку орієнтації напрямку ведення робіт; визначення оптимального напрямку ведення видобувних робіт.

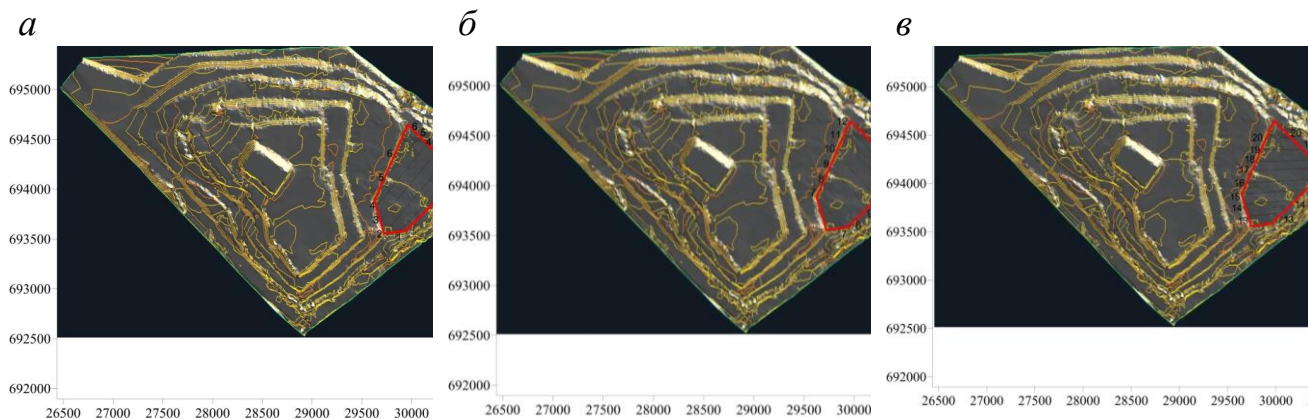


Рис. 5. Варіанти виділення видобувних кластерів

Результати визначення показника фрактальної розмірності перерізів видобувних кластерів для різних варіантів орієнтації фронту видобувних робіт представлені на рис. 6.

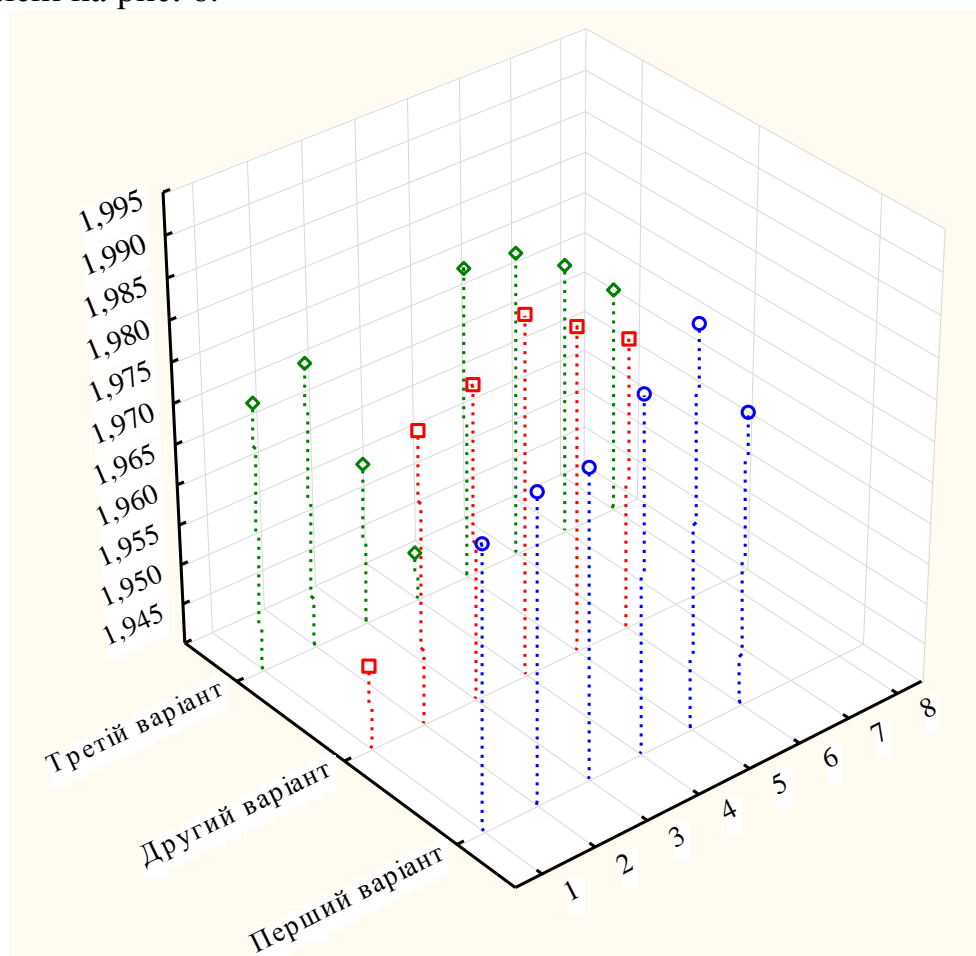


Рис. 6. Зміна показника фрактальної розмірності перерізів видобувних кластерів для різних варіантів орієнтації фронту видобувних робіт

Аналіз одержаних результатів значень фрактальної розмірності показав, що мінімальне значення середнього показника характерне для третього варіанту, що дозволяє вважати цей варіант орієнтації фронту видобувних робіт найбільш оптимальним з позиції рівномірності форми поверхні вибою. Також слід відзначити, що для першого варіанта характерна мінімальна дисперсія показника фрактальної розмірності 0,0000289, яка на порядок менша дисперсії для третього варіанта.

Керування якістю первинних каолінів при селективній розробці верхніх горизонтів пропонується виконувати на основі варіювання розроблених в роботі трьох варіантів технологічних схем (рис. 7) та схем режимів черпання (рис. 8).

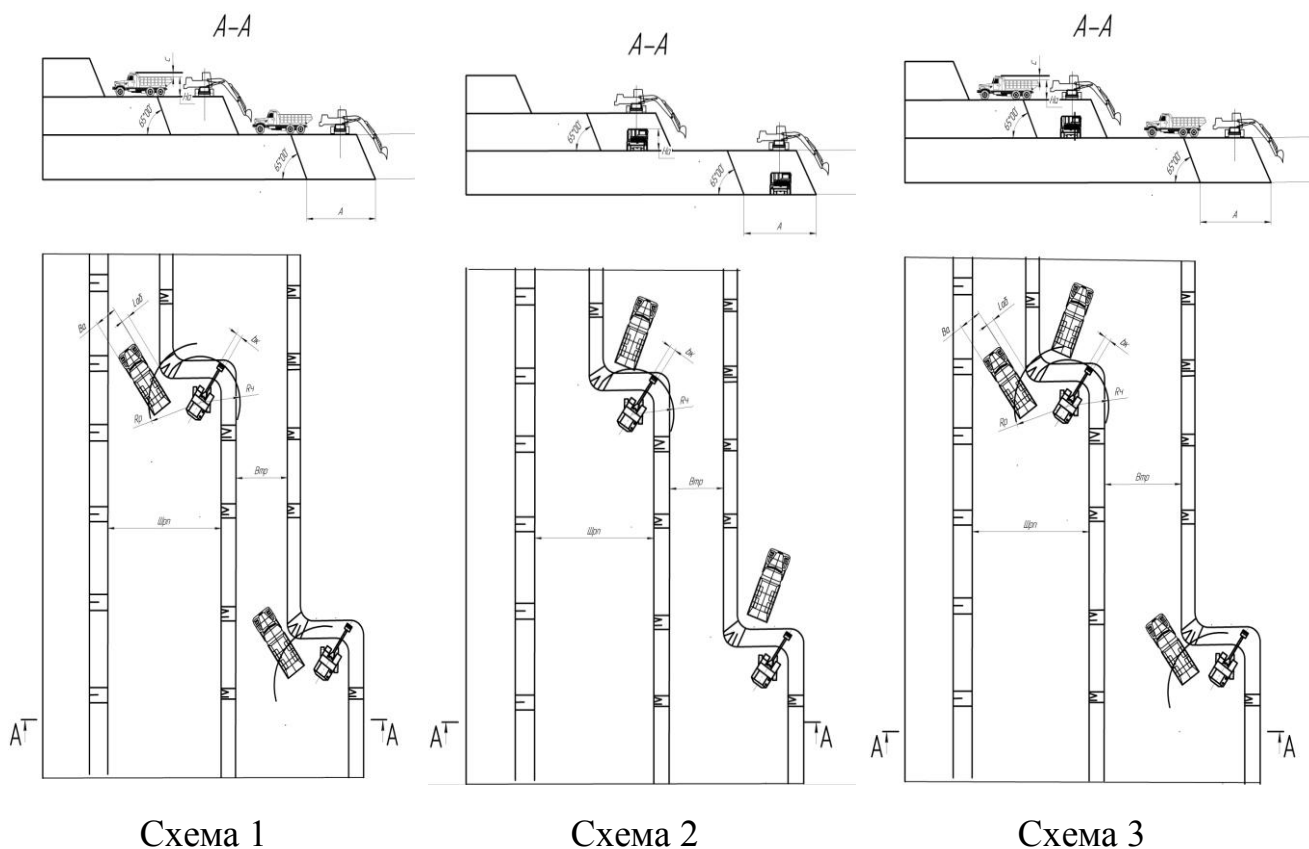


Рис. 7. Технологічні схема селективної розробки з використанням екскаватора типу зворотна лопата:  
схема 1 – з нижнім черпанням та розвантаженням гірничої маси в автосамоскид, який розташований на рівні стояння екскаватора; схема 2 – з нижнім черпанням та нижнім розвантаженням; схема 3 – з верхнім розвантаженням розкривних порід та нижнім розвантаженням корисної копалини

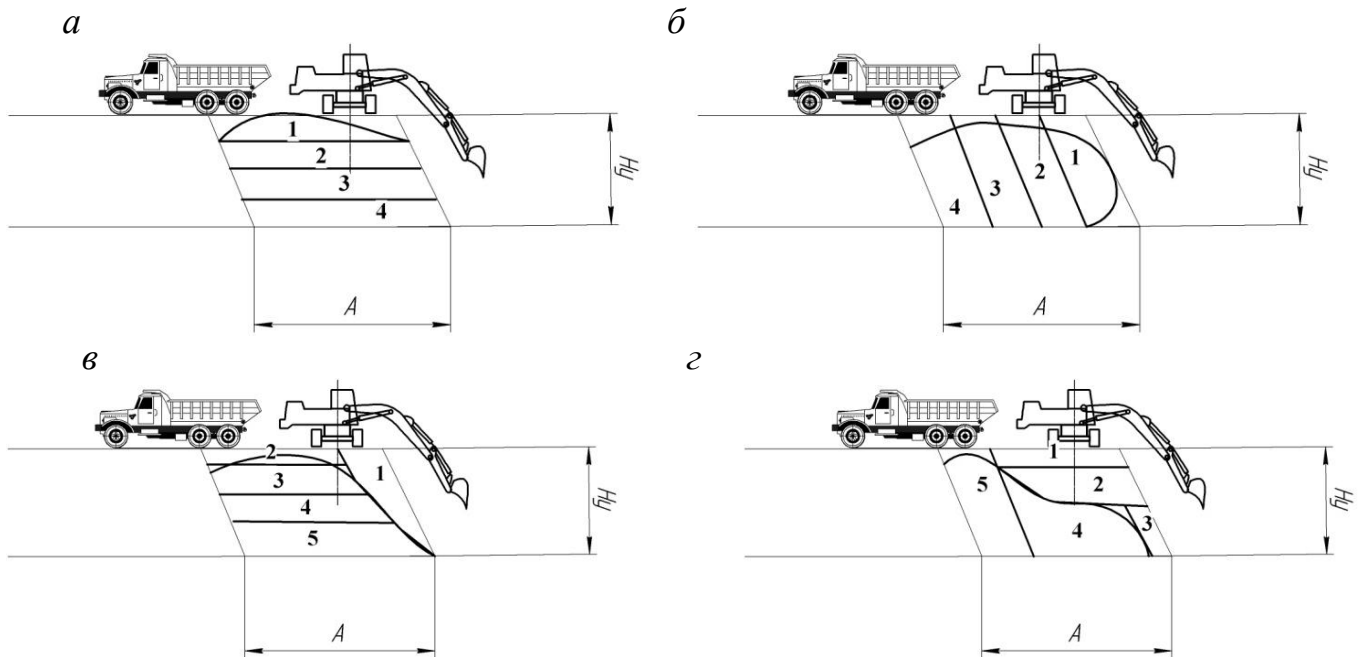


Рис. 8. Схеми режимів черпання при селективній розробці первинних каоолінів

Обґрунтовано аналітичні залежності для оцінки змінної продуктивності екскаватору з врахуванням вперше розробленого технологічного коефіцієнту форми контакту:

Для схеми 1:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{e.3M} = & \frac{3600EK_e K_{\theta} T_{3M} K_{\theta.3}}{\left( \frac{H_y + H_a + c}{v_{ок}} + t_{нк} + \frac{H_y + H_a + c - l_n \sin \beta}{v_{нк}} + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right) + 2\arcsin\left(\frac{0,5B_a + L_{a\bar{b}}}{2R_p}\right)}{v_{пов.3\theta}} \right) +} \\
 & + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right) + 2\arcsin\left(\frac{0,5B_a + L_{a\bar{b}}}{2R_p}\right)}{v_{пов.п.}} + \frac{Ek_{н.к.}}{v_{н.е.}AH_y k_{p.п.}} + t_p \Big) (1 + k_{\phi.к.}) \quad (16)
 \end{aligned}$$

Для схеми 2:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{e.3M} = & \frac{3600EK_e K_{\theta} T_{3M} K_{\theta.3}}{\left( \frac{H_y + H_a + c}{v_{ок}} + t_{нк} + \frac{H_y + H_a + c - l_n \sin \beta}{v_{нк}} + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right)}{v_{пов.3\theta}} \right) +} \\
 & + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right)}{v_{пов.п.}} + \frac{Ek_{н.к.}}{v_{н.е.}AH_y k_{p.п.}} + t_p \Big) (1 + k_{\phi.к.}) \quad (17)
 \end{aligned}$$

Для схеми 3:

$$\begin{aligned}
\Pi_{e.3M} = & \frac{3600EK_eK_{\epsilon}T_{3M}K_{\epsilon.3}}{\left( \frac{H_y + H_a + c}{v_{ок}} + t_{нк} + \frac{H_y + H_a + c - l_n \sin \beta}{v_{нк}} + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right) + 2\arcsin\left(\frac{0,5B_a + L_{a\delta}}{2R_p}\right)}{v_{пов.3\epsilon}} + \right.} \\
& + \left. \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right) + 2\arcsin\left(\frac{0,5B_a + L_{a\delta}}{2R_p}\right)}{v_{пов.н.}AH_y} \right) \frac{n_q^e}{n_q^{заг.}} + \left( \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right)}{v_{пов.3\epsilon}} + \frac{\arcsin\left(\frac{A}{2R_q}\right)}{v_{пов.н.}} \right) \frac{n_q^H}{n_q^{заг.}} + \\
& + \frac{Ek_{н.к.}}{v_{н.е.}AH_y k_{п.н.}} + t_p \left( 1 + k_{\phi.к.} \right)
\end{aligned} \quad (18)$$

де  $E$  – об’єм ковша екскаватора, м<sup>3</sup>;  $K_e$  – коефіцієнт екскавації;  $K_{\epsilon}$  – коефіцієнт вибою, який враховує вплив допоміжних операцій (0,85–0,9);  $T_{3M}$  – тривалість зміни (7–8), годин;  $K_{\epsilon.3}$  – коефіцієнт використання екскаватора в часі;  $H_y$  – висота уступу, м;  $H_a$  – висота автосамоскида, м;  $c$  – проміжок між кузовом автосамоскиду і ковшем, м;  $t_{нк}$  – час навантаження ковша, с;  $v_{ок}$  – швидкість опускання ковша у вибій, м/с;  $l_n$  – довжина траєкторії руху ковша при черпанні, м;  $\beta$  – кут відкосу уступу, град.;  $v_{нк}$  – швидкість підйому ковша, м/с;  $\alpha_{3\epsilon}$  – кут повороту завантаженого ковша, град.;  $v_{пов.3\epsilon}$  – швидкість повороту завантаженого ковша, град./с;  $\alpha_n$  – кут повороту пустого ковша, град.;  $v_{пов.н.}$  – швидкість повороту пустого ковша, град./с;  $t_p$  – час розвантаження, с;  $b_k$  – ширина захоплення ковша, м;  $l_n$  – довжина траєкторії руху ковша при черпанні, м;  $A$  – ширина західки екскаватора, м;  $n_q^e$  і  $n_q^H$  – кількість циклів з відповідно з верхнім та нижнім розвантаженням в межах однієї пересувки, відповідно до схеми режимів черпання, шт.;  $n_q$  – загальна кількість циклів екскавації в межах однієї пересувки, відповідно до схеми режимів черпання, шт.

Технологічний коефіцієнт форми контакту пропонується визначати з виразу:

1) для першої та другої технологічних схем:

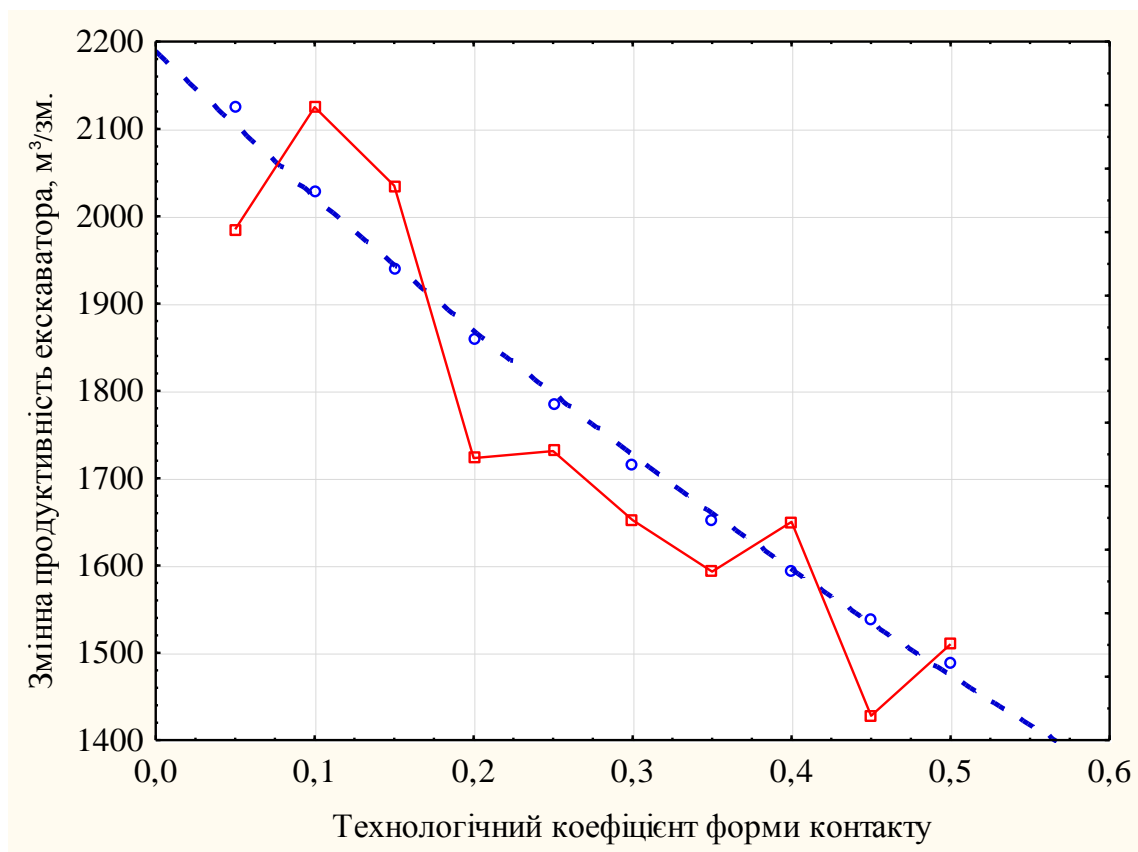
$$k_{\phi.к.} = \frac{B_{н.д.}}{b_k} \frac{L_{н.д.}}{l_n \cos \beta} \frac{H_{pn}}{l_n \sin \beta} + \frac{e^{\frac{\ln(S)}{D_f}} H_{pn} E k_{н.к.}}{b_k l_n \sin \beta n_{екс.бл.} AH_y L_{е.б.} k_{п.н.}}; \quad (19)$$

2) для третьої схеми:

$$k_{ф.к.} = \frac{e^{\frac{\ln(S)}{D_f}} H_{pn} E k_{н.к.}}{b_k l_n \sin \beta n_{екс.бл.} A H_y L_{е.б.} k_{р.п.}}, \quad (20)$$

де  $B_{н.д.}$ ,  $L_{н.д.}$  – відповідно, ширина та довжина некондиційної частини ділянки, які визначаються як сума середніх арифметичних значень у межах екскаваторного блока;  $n_{екс.бл.}$  – кількість екскаваторних блоків, яка необхідна для розробки кондиційної ділянки, шт.;  $H_{pn}$  – висота шару розкривних порід, на кондиційній ділянці, м;  $H_y$  – висота уступу, м;  $l_n$  – довжина траєкторії руху ковша при черпанні, м;  $\beta$  – кут відкосу уступу, град.;  $D_f$  – показник фрактальної розмірності контуру ділянки;  $S$  – площа кондиційної ділянки, м<sup>2</sup>.

Залежність продуктивності екскаватора від технологічного коефіцієнту форми контакту для схеми 1 представлена на рис. 9.



- - - - теоретичні значення; — — — емпіричні значення.

Рис. 9. Залежність продуктивності екскаватора від технологічного коефіцієнту форми контакту



У результаті виконаних досліджень було встановлено, що тривалість розвантаження ковша залежить від вологості первинних каолінів (коефіцієнт кореляції 0,88) і аналітично для екскаватора Caterpillar 345 С з ковшем Cat NACD описується поліномом другого ступеня наступного вигляду:

$$t_p = 0,568 + 0,0406v + 0,0018v^2, \quad (21)$$

де  $v$  – вологість первинних каолінів в масиві, %.

Для оптимізації процесу управління ефективністю розробки покладу первинних каолінів сформовані цільові функції для трьох запропонованих схем.

Визначення оптимальних значень параметрів пропонується виконувати методом перебору. Достовірність запропонованих математичних моделей продуктивності підтверджується наявністю незначних розбіжностей між теоретичними і емпіричними значеннями в межах 10 %.

Результати одержаних досліджень дають змогу розробити оптимальну методику управління якістю з урахуванням просторової мінливості показників якості покладів нерудних будівельних матеріалів.

У **п'ятому розділі** викладені методичні основи управління якістю та режимами гірничих робіт на підприємствах з видобутку булощебеневої, пірофілітової та цементної сировини.

У роботі було виконано кластерний аналіз розмірів родовищ граніту Житомирської області, що дозволило виділити дві основні групи. До першої групи потрапили всі родовища граніту, які використовуються для видобування булощебеневої продукції. До другої групи були віднесені в основному родовища блочного каменю. Поява серед них 20 % родовищ булощебеневої сировини однозначно зумовлена структурними геологічними показниками.

В результаті виконаних досліджень доведено ефективність застосування кластеризації для попередньої оцінки напрямків використання покладів гранітів та доведено наявність взаємозв'язку між розмірами родовища. Результати досліджень дозволять за відомими окремим розмірами покладів граніту спрогнозувати значення невідомого показника, а також оцінити перспективи видобутку блочної сировини на даному родовищі. Крім того застосування методу кластерного аналізу К-середніх для виділення систем тріщин підтвердило свою ефективність для родовищ гранітів. Це у поєднанні з інформацією про варіативну складову енергоємності видобування декоративного каменю для різних напрямків дає можливість обґрунтувати оптимальний напрямок розвитку гірничих робіт. Отже, очевидним є ефективність використання кластерного аналізу для визначення оптимальних параметрів системи розробки родовищ.

Для визначення об'ємів у дослідженні розроблено кластерно-фрактальну методику, суть якої полягає у виконанні таких операцій: формування масиву координат контуру; висування гіпотези про кількість кластерів; кластеризація масиву вихідних даних; визначення меж кожного з кластерів; оцінка фрактальної розмірності кожного кластера; визначення периметра кожного з

кластерів; визначення об'ємів кожного окремого кластера; визначення об'єму фігури як суми об'ємів окремих кластерів з виразу:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n P_i^{\frac{2}{D_{F_i}}}}{n}, \quad (22)$$

де  $D_{F_i}$  – фрактальна розмірність  $i$ -го кластеру;  $n$  – кількість кластерів;  $P$  – периметр  $i$ -го кластеру, м;

Адекватність запропонованої методики визначення об'ємів підтверджується незначною розбіжністю (в межах 1–10 %) із результатами традиційних способів.

У роботі було проаналізовано вимоги до якості та геопросторову мінливість основних показників покладів сировини для виготовлення цементу на прикладі Колубаївського родовища глинистих порід та Гуменецького родовища вапняків.

Для оцінки якості покладів нерудних будівельних матеріалів розроблено відносний показник якості:

$$k_{\kappa.} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{P}_i - \bar{P}_o}{\bar{P}_{cp}} \right) 100\%, \quad (23)$$

де  $\bar{P}_i$  – значення показника якості у пробі;  $\bar{P}_o$  – базове значення показника;  
 $\bar{P}_{cp}$  – середнє значення показника по родовищу;  $n$  – кількість показників.

Розроблена методика оперативної безконтактної оцінки просторової мінливості якісних показників, суть якої полягає у використанні мультикоптерної бази з застосуванням неметричних цифрових камер для вимірювання розмірів та портативного рентгенофлуоресцентного аналізатора для безконтактного визначення вмісту хімічних елементів у масиві.

Створення узагальненої моделі просторової мінливості якісних показників (рис. 10, а) дозволило виділити в межах гірничого відводу некондиційну ділянку (рис. 10, б), площа якої складає 32,2 % від загальної площі. Співставлення площ кондиційних і некондиційних ділянок з середнім вмістом  $\text{SO}_3$  показало, що при усередненні середній вміст даного показника можна довести до 2,26 %, що буде знаходитись в межах норми. Тому основою методики управління якістю для Колубаївської ділянки глинистих порід є селективне видобування з міжвибійним усередненням вмісту  $\text{SO}_3$ .

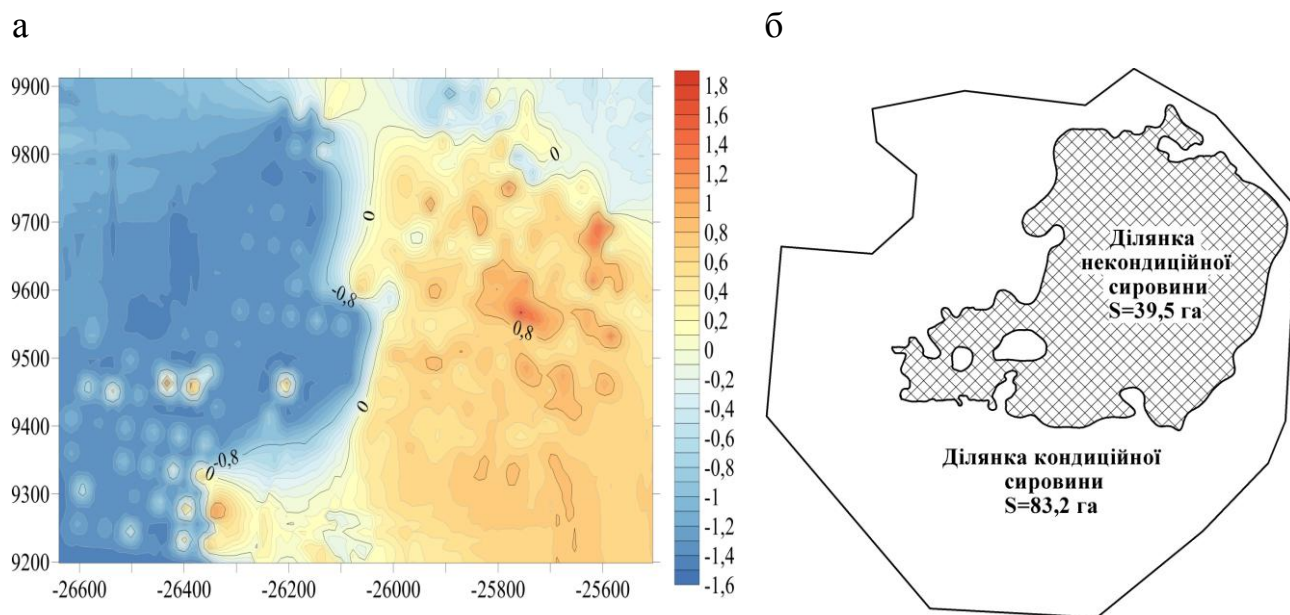


Рис. 10. Виділення некондиційної ділянки за узагальненою моделлю просторової мінливості якісних показників :

а – характеристика просторового розподілу показника якості; б – ділянка некондиційної сировини в межах гірничого відводу.

Розроблено методику кластерно-крігінгового усереднення якості сировини, яка була успішно реалізована для Колубаївської ділянки глинистих порід. Суть цієї методики полягає у послідовному виконанні таких операцій: формування масиву даних (координати та значення); оцінка граничних значень; кластерний аналіз масиву з урахуванням критичних значень; побудова моделі просторової мінливості показника якості; визначення контурів кожного кластера; визначення об'єму або площі (для випадку рівномірної потужності) кожного кластера (табл. 1); оптимізаційне моделювання процесів змішування сировини з різних кластерів у певних пропорціях; формування календарного плану видобувних робіт.

Таблиця 1

### Результати виділення кластерів за вмістом $\text{SO}_3$

Кластер	Вміст $\text{SO}_3$ , %				Відсоток площі даного кластера
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Дисперсія	
1	0,1	0,6	0,29	0,15	23,035
2	0,8	1,7	1,20	0,31	10,78
3	1,9	3	2,5	0,42	16,175
4	3,2	4,1	3,69	0,26	20,405
5	4,2	5,1	4,58	0,26	18,365
6	5,2	7,3	5,8	0,59	11,22

Реалізація даної методики для умов Колубаївської ділянки глинистих порід дозволила одержати наступні результати: змішуються перший (12,035 %) та шостий (11,22 %) кластери, що дозволить забезпечити очікуваний середній вміст 2,948 %  $\text{SO}_3$ ; перший (11 %) та п'ятий (18,365 %) кластери з очікуваним середнім вмістом 2,97 %; другий (10,78 %) з четвертим (20,405 %) кластером з очікуваним середнім вмістом 2,82 %. Третій кластер виступає в ролі резервного для забезпечення компенсації коливань прогнозних значень.

Доведено ефективність використання кластерного аналізу для виділення окремих сортів сировини на прикладі пірофілітових сланців Кур'янівського родовища.

Результати одержаних досліджень дають змогу підвищити достовірність оцінки обсягів виконаних робіт та розробити методики оперативної безконтактної оцінки просторової мінливості якісних показників і кластерно-крігінгового усереднення якості сировини.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми управління якістю нерудних будівельних матеріалів на основі геостатистичного моделювання для обґрунтування оптимальних технологічних рішень, що виявляється у встановленні залежностей природних та технологічних параметрів, які оцінюються інтегральними показниками якості, реалізованими при геостатистичному моделюванні ефективності технологічних рішень.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у такому:

1. За результатами аналізу наукових публікацій, які присвячені управлінню якістю нерудних будівельних матеріалів, встановлена ефективність безконтактних методів визначення та підтверджено гіпотезу про фрактальну природу окремих показників якості, що дозволить підвищити ефективність управління технологічними процесами.

2. Виділення систем тріщин для основних родовищ лабрадоритів Житомирської області із застосуванням кластерного аналізу дозволило виділити характерні для кожного родовища системи тріщин: 19 систем вертикальних тріщин, 21 систему субвертикальних тріщин, 2 системи субгоризонтальних тріщин та 1 систему горизонтальних тріщин. Оцінка впливу орієнтації тріщин на їх кількість дозволила одержати аналітичний вираз залежності кількості тріщин від азимуту простягання у вигляді поліному другого ступеня, що може бути використано для прогнозування напрямку розвитку гірничих робіт та управління процесами видобування декоративного каменю.

3. Вивчено закономірності просторової мінливості напрямків оптимального відколу для родовищ лабрадоритів та габро-анортозитів, встановлена аналітична залежність у вигляді полінома четвертого ступеня для прогнозування оптимального напрямку відколу для Головинського родовища лабрадориту та доведено відсутність зв'язку оптимального напрямку анізотропії і орієнтації тріщинуватості для Сліпчицького родовища габро-нориту, що дозволяє розробити оптимальну методику планування гірничих робіт з урахуванням анізотропії властивостей покладів декоративного каменю.

4. Результати виконаних досліджень доводять високу ефективність використання апарату фрактального аналізу для процесу управління якістю нерудних будівельних матеріалів. Доведено високу ефективність використання у якості цільової функції оптимального процесу управління технологічними процесами функцію орієнтації тріщинуватості, лінійних розмірів тріщин та швидкості буріння тріщинуватого масиву, які були оцінені за узагальненим показником фрактальної розмірності.

5. Встановлено рівняння парної регресії для білизни та кольорових координат; доведено ефективність використання фрактальної розмірності поверхні зразків для визначення оцінки білизни та одержано емпіричну залежність білизни від фрактальної розмірності поверхні у вигляді полінома другого ступеня, встановлено наявність тісного кореляційного зв'язку між білизою та розмірами зерен у вигляді полінома четвертого ступеня та підібрано аналітичний вираз у вигляді полінома четвертого ступеня для оцінки взаємозв'язку між білизою та фрактальною розмірністю зерен каоліну в пігулках та доведено наявність тісного кореляційного зв'язку між білизою та фрактальною розмірністю поверхні зерен каоліну, яка визначена за результатами використання цифрового мікроскопа в масиві, та підібрано аналітичний вираз, який представлений поліномом другого ступеня, що дало можливість розробити нові методики визначення білизни.

6. Виконано дослідження взаємозв'язку показників якості для Глухівського, Велико-Гадоминецького та Жежелівського родовищ первинних каолінів, та встановлено наявність тісного кореляційного зв'язку між  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і білизою та одержані відповідні рівняння регресії. В цілому геостатистичний аналіз якісних і геоструктурних показників виявив наявність просторової неоднорідності родовищ первинних каолінів, що значно ускладнює виявлення спільної зони з високими коефіцієнтами коваріації одночасно для трьох основних показників якості первинного каоліну, що свідчить про високу різносортність первинних каолінів та вимагає формування нових підходів до технологічних рішень при плануванні гірничих робіт для оптимізації процесу управління якістю.

7. Розроблені технологічні схеми селективної розробки з використанням екскаватора типу зворотна лопата та обґрунтовані аналітичні залежності для оцінки продуктивності екскавації при селективному видобуванні первинних каолінів з врахуванням вперше розробленого технологічного коефіцієнту форми контакту та встановлено, що тривалість розвантаження ковша залежить від вологості первинних каолінів.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті у фахових виданнях:*

1. Соболевський Р. В. Дослідження можливих шляхів мінімізації втрат при завалюванні монолітів декоративного каменю / Р. В. Соболевський, В. В. Коробійчук, О. А. Зубченко // Вісник ЖДТУ. – 2007. – № 1. – С. 201–206.
2. Дослідження тріщинуватості та блочності масивів природного каменю з використанням систем технічного зору / [Ю. О. Подчашинський, О. О. Ремезова, Р. В. Соболевський та ін.] // Академический вестник. – 2007. – № 19. – С. 19–24.

3. Дослідження фрактальних властивостей тріщинуватості зразків природного каменю / Ю. О. Подчашинський, Р. В. Соболевський, О. О. Ремезова, В. В. Коробійчук // Вісник Криворізького технічного університету. – 2007. – № 16. – С. 117–121.

4. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / Ю. О. Подчашинський, О. О. Ремезова, О. А. Зубченко, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2007. – № 3. – С. 143–150.

5. Левицький В. Г. Дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків природного каменю та її впливу на техніко-економічні показники кар'єру / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – № 4 (43). – С. 149–155.

6. Левицький В. Г. Дослідження етапів калібрування цифрових неметричних камер з метою підвищення ефективності наземної фотограмметричної зйомки / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – № 2 (45). – С. 77–84.

7. Левицький В. Г. Вивчення тріщинуватості масиву гірських порід на основі цифрового фотограмметричного способу / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – № 3 (46). – С. 124–128.

8. Левицький В. Г. Дослідження впливу кута і відстані цифрової фотограмметричної зйомки на точність побудови тривимірних моделей об'єктів кар'єру декоративного каменю / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський, А. В. Панасюк // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Випуск 9 (143). – С. 147–151.

9. Левицький В. Г. Створення тривимірних моделей природних окремоностей кар'єру як етап удосконалення маркшейдерського забезпечення видобування декоративного каменю / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Випуск 12 (173). – С. 232–238.

10. Соболевський Р. В. Обґрунтування оптимального методу інтерполяції геологорозвідувальних даних на базі програмного забезпечення SURFER / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач // Вісник ЖДТУ. – 2011. – № 1. – С. 135–141.

11. Соболевський Р. В. Визначення основних критеріїв якості пірофілітових сланців / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач, С. С. Іськов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2011. – № 2. – С. 170–176.

12. Соболевський Р. В. Дослідження особливостей геометризації пластових родовищ / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач // Вісник ЖДТУ. – 2011. – № 3. – С. 189–195.

13. Толкач О. М. Дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників пірофілітових сланців Кур'янівського родовища / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2011. – № 4. – С. 147–151.

14. Толкач О. М. Побудова регресійної моделі взаємозв'язків основних показників якості пірофілітових сланців / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський //

Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2012. – № 1. – С. 134–138.

15. Соболевський Р. В. Оцінка точності визначення структурних та якісних показників Кур'янівського родовища пірофілітових сланців / Р. В. Соболевський, О. М. Толкач // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 2. – С. 185–189.

16. Соболевський Р. В. Обґрунтування методики підрахунку об'ємів складів готової продукції бутощебеневої сировини / Р. В. Соболевський, О. М. Ващук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2012. – № 4. – С. 174–182.

17. Соболевський Р. В. Автоматизація визначення якісних параметрів товарної продукції на блочних кар'єрах / Р. В. Соболевський, В. Г. Левицький // Наукові праці ДонНТУ. – 2013. – № 1. – С. 214–218.

18. Соболевський Р. В. Геостатистичний підрахунок запасів Велико-Гадоминецького родовища первинних каолінів з врахуванням сортової диференціації / Р. В. Соболевський, О. М. Ващук // Вісник ЖДТУ. – 2014. – № 1. – С. 124–132.

19. Соболевський Р. В. Розробка методики визначення білизни первинних каолінів / Р. В. Соболевський, О. М. Ващук, В. А. Стріха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування / Серія : Технічні науки. – 2014. – № 4. – С. 411–421.

20. Соболевський Р. В. Оптимізаційне моделювання технології видобування декоративного каменю / Р. В. Соболевський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – 2014. – № 1. – С. 50–58.

21. Levytsky V. H. Decorative stone block quality control based on surface digital photogrammetry / V. H. Levytsky, R. V. Sobolevsky // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2014. – Vol. 6. – P. 58–66 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»*).

22. Левицький В. Г. Обґрунтування оптимальних технологічних параметрів видобування гранітних блоків на основі показників тріщинуватості / В. Г. Левицький, Р. В. Соболевський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2014. – Вып. № 3/3 (69). – С. 48–52 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, каталогу періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory та PИИЦ – Російський індекс цитування*).

23. Соболевський Р. В. Управление качеством блочного сырья на основе цифровой фотограмметрии и оптимизационного моделирования // Научно-техническое обеспечение горного производства / Р. В. Соболевський // Труды Института горного дела им. Д. А. Кунаева (Казахстан). – 2014. – № 1. – С. 259–266 (*закордонне періодичне фахове видання*).

24. Sobolevskyi R. Development of methodology for assessing geospatial variability of primary kaolin / R. Sobolevskyi, O. Vashchuk, O. Tolkach // New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – Hardback – Published October 14th 2015. – P. 505–509 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Web of Science Core Collection»*).

25. Соболевський Р. В. Управління якістю бурових робіт для підвищення ефективності алмазно-канатного різання / Р. В. Соболевський, В. О. Шлапак, О. В. Камських // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. – № 5. – С. 106–111 (*входить до переліку міжнародних наукометричних баз даних «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar»*).

26. Соболевський Р. В. Оцінка достовірності геометризації якісних показників Велико-Гадоминецького родовища первинних каолінів на основі підбору оптимальної моделі варіограми за площинним критерієм / Р. В. Соболевський, О. М. Ващук, О. М. Толкач // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2015. – № 1. – С. 57–64 (*входить до переліку міжнародних наукометричних баз даних «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLIBRARY», «Index Copernicus», «Google Scholar»*).

27. Korobiichuk V. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing // V. Korobiichuk, V. Shamrai, O. Iziumova, O. Tolkach, R. Sobolevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 4/5 (82). – P. 52–57 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»*).

28. Sobolevskiy R. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling / R. Sobolevskiy, V. Shlapak // Metallurgical and mining industry. – 2016. – № 2. – P. 167–173 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»*).

29. Sobolevskiy R. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material // R. Sobolevskiy, N. Zuievskaya, V. Korobiichuk, O. Tolkach, V. Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 5/3 (83). – P. 21–29 (*входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»*).

30. Sobolevskiy R. V. Evaluation of accuracy of photogrammetric methods and laser scanning for measuring of parameters of cracks natural separateness / R. V. Sobolevskiy, V. H. Levytskyi, V. O. Shlapak // Вісник ЖДТУ. – 2016. – № 1. – С. 158–163 (*входить до переліку міжнародних наукометричних баз даних «WorldCat», «BASE», «eLibrary», «Google Scholar», «Research Bib»*).

#### Патенти:

31. Пат. 86515 Україна, МПК (2009) G 01 B 7/00 G01 N21/00. Спосіб визначення тріщинуватості блоків та виробів з природного каменю / Коробійчук В. В., Ремезова О. О., Подчашинський Ю. О., Соболевський Р. В.; заявник і власник патенту ЖДТУ. – № а2007 10049; заявл. 10.09.07; опубл. 27.04.09, Бюл. №8.

#### Публікації за матеріалами конференцій:

32. Соболевский Р. В. Влияние линейных размеров блоков камня на процесс распиловки штрипсовыми пилами / Р. В. Соболевский, В. В. Коробийчук, Е. А. Зубченко // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2007. – С. 151–159.



33. Соболевский Р. В. Моделирование и выбор оптимальной схемы раскроя природных отдельностей на товарные блоки с целью автоматизации горных работ / Р. В. Соболевский, В. Г. Левицкий // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2008. – С. 77–87.

34. Іськов С. С. Діагностичні ознаки способів утворення гранітоїдів / С. С. Іськов, Р. В. Соболевський, О. В. Камських // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2011» Серія «Геологія». – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 147–153.

35. Соболевский Р. В. Маркшейдерская и цифровая съемка товарных блоков декоративного камня с целью точного определения их объемов и создания паспорта блочной продукции / Р. В. Соболевский, В. Г. Левицкий // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. – С. 41–45.

36. Толкач О. М. Дослідження напрямків використання пірофілітових сланців Кур'янівського родовища / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Збірник тез доповідей XXXV науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню університету. – Житомир : ЖДТУ. – 2011. – Т. І. – С. 169–170.

37. Толкач О. М. Обґрунтування раціонального способу розкриття Кур'янівського родовища пірофілітових сланців / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Збірник тез V Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина». – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 15–17.

38. Толкач О. Н. Использование пиррофиллита как декоративно-поделочного камня / О. Н. Толкач, Р. В. Соболевский // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. – С. 174–178.

39. Толкач О. М. Аналіз методів згладжування при обробці геологорозвідувальних даних / О. М. Толкач, Р. В. Соболевський // Тези міжвузівської науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки ЖДТУ – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2012. – Т. 1. – С. 159–160.

40. Соболевський Р. В. Тріщинуватість кар'єрів декоративного каменю та її вплив на форму природних окремоностей / Р. В. Соболевський, В. Г. Левицький // Матеріали регіональної науково-практичної конференції «Проблеми гірничої технології», 30 листопада 2012 р. – Красноармійськ : КП ДонНТУ, 2012. – С. 110–115.

41. Соболевский Р. В. Разработка методов предварительного прогнозирования, контроля и управления качеством блочного сырья на основе цифровой фотограмметрии / Р. В. Соболевский // Материалы 9-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». – Минск, 2013. – С. 151–156.

42. Соболевский Р. В. Использование фрактального анализа для определения закономерностей формирования трещиноватости /

Р. В. Соболевский, С. С. Иськов, О. Н. Толкач // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. – С. 84–92.

43. Соболевский Р. В. Оценка пространственной ориентации природной трещиноватости месторождений блочного камня на основе фотограмметрического нейросетевого анализа / Р. В. Соболевский // Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Алматы : КазНТУ, 2014. – С. 362–368.

44. Соболевський Р. В. Оцінка просторової мінливості якісних показників Велико-Гадоминецького родовища первинних каолінів з врахуванням ступеня розвіданості покладу та окремих його частин / Р. В. Соболевський, О. М. Вашук // Проблеми гірничої технології: матеріали регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ ДонНТУ, 28 листопада 2014 р. – С. 41–46.

45. Соболевський Р. В. Вплив відхилення та напряму буріння шпурів та свердловин на ефективність видобування блочного каменю / Р. В. Соболевський, В. О. Шлапак // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства», 2016 р. – С. 34.

46. Соболевский Р. В. Классификация месторождений лабрадорита Житомирской области на основе кластерного анализа / Р. В. Соболевский, С. С. Иськов, В. А. Шлапак // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2016. – С. 58–68.

47. Sobolevskyi R. Using cluster analysis for planning mining operations on the granite quarries. [Text] / R. Sobolevskyi, I. Korobiichuk, M. Nowicki, R. Szewczyk // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. – 2016. – Book 1. – Vol. 2. – P. 263–270.

**Особистий внесок здобувача в публікаціях із співавторами:**

[1] – сформульовано мету та задачі досліджень, взято участь в обґрунтуванні методики, проведенні досліджень та аналізі одержаних результатів; [2] – визначено основні показники для аналізу техногенної тріщинуватості зразків декоративного каменю; [3;27] – участь у проведенні дослідів та аналізі одержаних результатів; [4] – розроблена методика дослідження впливу буровибухової технології видобування декоративного каменю на якість блоків; [5–8] – ідея, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів; [9] – розроблена методика створення тривимірних моделей природних окремоностей; [10; 12; 15; 36–38] – сформульована ідея та методика дослідження; [11] – обґрунтована методика визначення критерію якості покладу; [13] – розроблена методика дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників; [14] – сформульовано ідею дослідження та взято участь в аналізі одержаних результатів; [16] – розроблено методику оцінки точності підрахунку об'ємів складів готової продукції; [17] – розроблено методику визначення елементів залягання природних тріщин; [18] – розроблено методику геостатистичного

підрахунку запасів первинних каолінів з врахуванням сортової диференціації; [19] – сформульована ідея використання планшетного сканера для визначення білизни, визначено порядок сканування зразків та розроблена методика обробки зображення для визначення білизни; [21] – розроблено методику контролю якості блочної продукції; [22] – розроблено методику обґрунтування оптимальних технологічних параметрів та виконано аналіз даних; [24] – розроблено методику аналізу геопросторової мінливості показників якості первинних каолінів; [25] – виконано вимірювання відхилень алмазно-канатного різання та аналіз одержаних даних; [26] – розроблена методика оцінки достовірності геометризації якісних показників первинних каолінів; [28] – розроблено методику дослідження відхилень шпурів при суцільному бурінні; [29] – розроблено методику кластерного аналізу тріщинуватості покладів та кластерно-ймовірнісний метод оцінки блочності; [30] – обґрунтовано методику дослідження ефективності використання лазерного сканера та цифрових неметричних камер для вивчення тріщинуватості; [31] – ідея патенту належить авторам рівною мірою; [32] – визначено вплив розмірів та форми блоків декоративного каменю на продуктивність штрипсового розпилювання; [33] – розроблено методики вибору оптимальної технологічної схеми розкроювання природної окремості на товарні блоки на основі створеної економіко-математичної моделі; [34] – визначено актуальність дослідження та виконана оцінка впливу типів гранітоїдів на якість декоративного каменю; [35] – розроблена методика зйомки блоків з використанням цифрових неметричних камер та оцінка впливу якості поверхні блоків на об'єм кондиційного блоку; [39] – розроблена методика оцінки ефективності різних методів згладжування при обробці геологорозвідувальних даних; [40] – розроблена методика визначення впливу природної тріщинуватості на форму природної окремості; [42] – розроблена методика фрактального аналізу тріщинуватості покладів декоративного каменю та класифікація родовищ декоративного каменю за значеннями фрактальних розмірностей роз тріщинуватості; [44] – розроблена методика оцінки впливу кількості геологічної інформації на вірогідність просторової мінливості якісних показників покладів первинних каолінів; [45] – визначені основні технологічні проблеми, зумовлені відхиленням шпурів від проектного значення; [46] – розроблена методика класифікації родовищ лабрадориту та виконана її практична реалізація, а також розроблені технологічні рекомендації для виділених типів родовищ; [47] – розроблена методика визначення напрямку розвитку гірничих робіт та оптимальної висоти уступу й виконана її реалізація для конкретних гірничих підприємств.

## АНОТАЦІЯ

**Соболевський Р. В.** «Управління якістю нерудних будівельних матеріалів на основі геостатистичного моделювання». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми управління якістю нерудних будівельних матеріалів на основі геостатистичного

моделювання для обґрунтування оптимальних технологічних рішень, яке полягає у встановленні залежностей природних та технологічних параметрів, які оцінюються інтегральними показниками якості реалізованими при геостатистичному моделюванні ефективності технологічних рішень.

Доведено, що при селективному способі розробки родовищ нерудної будівельної сировини управління якістю необхідно здійснювати з врахуванням фрактальної природи показників якості, які визначаються за розробленими методиками. Вперше встановлені залежності між кількістю тріщин та азимутом простягання, між орієнтацією окремих систем тріщин, виділених за результатами кластерного аналізу, і оптимальним напрямком відколу для родовищ декоративного каменю, що може бути використано для прогнозування напрямку розвитку гірничих робіт та управління процесами видобування декоративного каменю. Встановлено, що ефективність процесу управління технологічними процесами при розробці декоративного каменю досягається за результатами оцінки геопросторової мінливості узагальнюючого показника фрактальної розмірності, який є функцією орієнтації тріщинуватості, лінійних розмірів тріщин та швидкості буріння тріщинуватого масиву. Вперше виділені групи родовищ нерудних будівельних матеріалів за геоструктурними показниками та фрактальною розмірністю роз тріщинуватості. Встановлено взаємозв'язок між геохімічними та геоструктурними показниками якості родовищ нерудних будівельних матеріалів та оцінено вплив їх просторової мінливості на ефективність селективного видобування нерудних будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, управління якістю, показники якості, тріщинуватість, білизна, геостатистичний аналіз, селективне видобування, кластерний аналіз, фрактальний аналіз.

## АННОТАЦІЯ

**Соболевский Р. В.** «Управление качеством нерудных строительных материалов на основе геостатистического моделирование». – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической проблемы управления качеством нерудных строительных материалов на основе геостатистического моделирования для обоснования оптимальных технологических решений, которое заключается в установлении зависимостей природных и технологических параметров, которые оцениваются интегральными показателями качества, реализованными при геостатистическом моделировании эффективности технологических решений.

Доказано, что при селективном способе разработки месторождений нерудного строительного сырья управление качеством необходимо осуществлять с учетом фрактальной природы показателей качества, которые определяются по разработанным методикам. Впервые установлены зависимости между количеством трещин и азимутом простирания, между ориентацией отдельных систем трещин, выделенных по результатам кластерного анализа, и оптимальным направлением откола для месторождений декоративного камня, что может быть

использовано для прогнозирования направления развития горных работ и управления процессами добычи декоративного камня. Установлено, что эффективность процесса управления технологическими процессами при разработке декоративного камня достигается по результатам оценки геопространственной изменчивости обобщающего показателя фрактальной размерности, который является функцией ориентации трещиноватости, линейных размеров трещин и скорости бурения трещиноватого массива. Впервые выделены группы месторождений нерудных строительных материалов по геоструктурным показателям и фрактальной размерности роз трещиноватости. Установлена взаимосвязь между геохимическими и геоструктурными показателями качества месторождений нерудных строительных материалов и оценено влияние их пространственной изменчивости на эффективность селективной добычи нерудных строительных материалов.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, управление качеством, показатели качества, трещиноватость, белизна, геостатистический анализ, селективная добыча, кластерный анализ, фрактальный анализ.

### ABSTRACT

**Sobolevskiy R.V.** "Quality management of nonmetallic building materials based on geostatistical modeling". – Manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.15.03 – open-pit mining of mineral deposits. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and practical problem of quality management of nonmetallic building materials based on geostatistical modeling for grounding the optimal technological solutions that become apparent at the ascertainment of natural and technological parameters relationships which are assessed by integral quality coefficients realized at geostatistical modeling of the effectiveness of technological solutions. It is proved that when using the selective method of mining of non-metallic building materials, the quality management should be carried out taking into account the fractal nature of quality coefficients, which are determined by the developed methods. The relationship between the number of fractures and strike azimuth for ornamental stone deposits is first established, that can be used to predict the direction of mining development and management of ornamental stone extraction processes. As a result of the performed research into regularities of formation of fracturing of deposits of labradorite, we identified the main types of the samples describing the elements of occurrence, and formed the reference samples, the analysis of which allowed us to substantiate the optimal methods of cluster analysis for selecting the systems of fracturing. To predict the direction of development of mining and management of the processes of extraction of decorative stone, we obtained analytical expression of dependency of the quantity of cracks on the strike azimuth in the form of polynomial of the second degree. The relationship between the orientation of individual systems of fractures allocated according to the results of cluster analysis and optimal cleavage direction for gabbro rocks deposits is first established, that allow to develop the optimal method of the mining operations planning, taking into account the anisotropy of ornamental stone deposits properties. It is proved that for quality management and assessment of the prospects of deposits or block stone individual sections development,

it is advisable to carry out the evaluation according to the number of fractures in the system that are selected by the results of fractures massif clustering and their dimensional orientation. For the estimation of prospects of development of deposits, or separate sections, we proposed the new cluster-geometric technique of determining the blockiness. In addition, the proposed technique makes it possible to estimate the probability of each of the obtained results, which significantly increases efficiency of risk assessment when designing mining works. It also allows increase in the degree of taking account of the genesis of fracturing and mutual angular correlations between the systems of fracturing, which provides for the possibility to increase the accuracy of assessment of quality of both entire deposit and its separate sections. The technique of fractal analysis of regularities in the fracturing formation for various deposits or their sections, which is based on the comparison of values of fractal dimensionality of the roses of fracturing, was developed. The groups of labradorite deposits were distinguished by index of fractal dimensionality, which allows developing standard technological solutions for each group in order to enhance the effectiveness of quality and productivity control over technological complexes. A map of spatial variability in fractal dimensionality of fracturing in the labradorite deposits of Ukraine was produced, the use of which will make it possible to increase efficiency of discovering new labradorite deposits, which will meet certain quality requirements. The construction of this map will allow enhancing efficiency of the interpretation of conditions for the formation of particular deposits. The patterns of change in fractal dimensionality at the different structural levels were established and the methods for their prediction were developed, which will make it possible, by the results of exploring fractal dimensionality at one of the structural level, to predict their values for others to optimize the process of control over geological exploration and extraction operations. As a result of the performed experimental studies, the influence of fractal dimensionality of fracturing in the blast-hole drilling zone on the productivity of the process was proved. We created objective function of optimal process to control technological processes, based on geostructural and technological indices that were evaluated by generalizing index of fractal dimensionality. The objective function of optimal process of drilling the fractured array, which includes indices of fractal dimensionality of the drilling zone, was proposed. For the first time the regularities of change of primary kaolin samples whiteness depending on the results of determination of colour coordinates, the fractal dimension of the sample surface, the size of scanned samples grains and fractal dimension of grains in the massif are established. For the first time the relationship between the geochemical and geostructural parameters of nonmetallic building materials deposits is established and the influence of their spatial variability on the effectiveness of selective extraction of nonmetallic building materials is assessed. Based on the first developed technological coefficient of the contact form, the influence of fractal dimension of conditioned areas contours on the productivity of excavation is established when using selective extraction of nonmetallic building materials. Cluster and fractal technique of determining the volumes, operational noncontact evaluation of spatial variability of quality indicators technique and the method of cluster and crigging averaging of raw materials quality are developed.

**Key words:** open pit mining, quality management, quality coefficients, fracturing, whiteness, geostatistical analysis, selective extraction, cluster analysis, fractal analysis.

Соболевський Руслан Вадимович

**УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ  
ГЕОСТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

---

Підписано до друку: 16.03.2017  
Папір друк. Друк офсетний  
Тираж 100 прим.

Формат 60х90 1/16  
Обсяг 2,1 ум.-друк. арк.  
Зам. № 771

---

**Житомирський державний технологічний університет  
10005, Україна, м. Житомир, вул. Черняховського, 103  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.**